Российская академия наук
Институт психологии

В.А. Барабанщиков
В.И. Белопольский

СТАБИЛЬНОСТЬ ВИДИМОГО МИРА

Издательство
«Институт психологии РАН»
Москва — 2008

УДК 159.9
ББК 88
Б 24

Рецензенты:
доктор психологических наук, профессор,
член-корреспондент РАО *Панов В.И.*
доктор психологических наук,
профессор *Митькин А.А.*

Б 24 **Барабанщиков В.А., Белопольский В.И.** Стабильность видимого мира.— М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. — 303 с.

УДК 159.9
ББК 88

В монографии рассмотрены общие вопросы пространственной ориентации человека и те зрительные феномены, которые сопровождают глазодвигательную активность наблюдателя. Акцент сделан на анализе классической проблемы. Дана критика (в том числе экспериментальная) так называемым теориям компенсации и другим моторным теориям восприятия, постулирующим дополнительный, экстрасетчаточный источник пространственной информации. В цикле выполненных авторами экспериментальных исследований, где использовались разнообразные методы трансформации зрительной обратной связи в глазодвигательной системе, получены новые результаты, позволяющие наметить контуры оригинальной концепции стабильности видимого мира и уточнить роль движений глаз в зрительном восприятии человека.

ISBN 978-5-9270-0127-9

ОГЛАВЛЕНИЕ

Памяти
Николая Юрьевича Вергилеса
посвящается

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателя монография «Стабильность видимого мира» затрагивает проблемы, которые без преувеличения можно назвать фундаментальными. В исторической ретроспективе трудно найти хотя бы одну серьезную философскую концепцию, которая бы игнорировала вопросы о том, каким образом и в какой форме человек воспринимает пространственные отношения, в чем причина адекватности его чувственного образа, и, наконец, какова природа той активности, которая позволяет ему ориентироваться в окружающей среде, находить искомый объект и совершать точные целенаправленные движения. В рамках естественно-научного подхода к решению проблем пространственной ориентировки человека, сделано немало открытий, позволивших выделить и описать структуры мозга и физиологические механизмы, обеспечивающие порождение чувственного образа. За последние 150 лет не раз возникала ситуация, когда казалось бы частные вопросы сенсорной и двигательной физиологии становились ареной ожесточенных споров, получивших порой широкое мировоззренческое звучание. Значительную роль в постановке и конкретно-научном изучении проблем пространственного восприятия сыграли такие выдающиеся ученые XIX – начала XX веков как Г. Гельмгольц, Э. Геринг, У. Джемс,. Э.Мах, И.М.Сеченов, Н.Н. Ланге, Ч. Шеррингтон, В. Вундт, Г. Стреттон, а в середине прошлого столетия — Н.А.Бернштейн, Р. Сперри, Э. фон Хольст. Г. Тойбер, Д. Хэбб, Дж. Гибсон и другие, имена которых часто упоминаются в этой книге. Большой вклад в решение проблемы внесли отечественные психологи и физиологи второй половины XX века.

Важным, хотя и промежуточным, итогом проведенных исследований стало ясное понимание сложности, многогранности и многомерности как самого феномена восприятия пространства, так и обеспечивающих его механизмов, их, говоря современном языком, системный характер. Действительно, принципиальная неоднозначность поступающей на сетчатку информации может быть преодолена только

путем ее включении в более широкий контекст взаимодействия человека с миром, с учетом собственной активности субъекта восприятия. И если нижние уровни организации зрительного процесса могут быть описаны в терминах системы автоматического регулирования, то способ представления высших уровней остается открытым. Во всяком случае, объяснительные понятия привлекаемые разными исследователями, такие как воля (произвольность), внимание, позиционное чувство, перцептивная готовность и др., недвусмысленно свидетельствует о психологической составляющей системы пространственной ориентации. Идея системной организации процессов и механизмов, обеспечивающих порождение образа окружающего человека пространства — трехмерного, безграничного, соразмерного наблюдателю и устойчивого при его перемещениях, объединяет исследования, которые изложены в данной книге. Они посвящены общей теме: механизмам сохранения стабильности восприятия пространства при изменении положения глаз либо головы.

В начале научной деятельности авторам посчастливилось пройти серьезную школу экспериментальной психологии в лаборатории процессов восприятия Института психологии АН СССР, которой руководил сначала Б.Ф.Ломов, а затем — Н.Ю.Вергилес. Оба этих человека оказали глубокое влияние на мировоззрение, сферу научных интересов авторов и характер проводимых ими исследований. Описанные в книге эксперименты являются продолжением работ, выполненных нашими учителями (Зинченко, Вергилес, 1969; Андреева, Вергилес, Ломов, 1972, 1975). О вкладе Бориса Федоровича Ломова в изучение вопросов психологии восприятия неоднократно писалось ранее (Барабанщиков, 2000, 2005; Барабанщиков, Носуленко, 2004 и др.). Представленная монография — дань памяти Николаю Юрьевичу Вергилесу (1937-1996 гг.) — талантливому инженеру и экспериментатору, который задумывал и своими руками создавал уникальные приборы, позволявшие получать качественно новые научные результаты. Будучи конструктором-универсалом по призванию и связистом по образованию, он обогатил отечественную и мировую науку новыми методами регистрации движений глаз (в частности, электро–индуктивная методика была создана Н.Ю. Вергилесом в 1963 году одновременно и независимо от Д. Робинсона в США, пьезоэлектрический метод регистрации нистагма был описан им раньше, чем это сделал Д. Томас в Великобритании). Сконструированная Н.Ю. Вергилесом методика длительной стабилизации изображения относительно сетчатки глаза, основанная на его модели

динамики переходных процессов в зрительной системе, позволила открыть ряд новых феноменов зрительного восприятия, в том числе возможность движения взора («функционального фовеа») без эффективных перемещений глаз. В своих работах Николай Юрьевич стремился сблизить язык психологии с языком описания технических систем, сделать его столь же точными, понятным и универсальным.

Мастерство, эрудиция и технический кругозор позволяли Н.Ю.Вергилесу воплощать в жизнь самые смелые научные проекты. Именно ему принадлежит идея оптической трансформации зрительной обратной связи в глазодвигательной системе, экспериментальной реализации которой посвящена значительная часть данной книги. К сожалению, жизнь Николая Юрьевича оборвалась достаточно рано, сегодня ему было бы только 70 лет.

Основу данной книги составили работы, написанные авторами в разные годы. При подготовке к публикации они были частично пересмотрены и заново отредактированы. Вместе с тем в тексте монографии были сохранены смысловые повторы (прежде всего при описании теорий зрительной стабильности), которые, на наш взгляд, помогают лучше понять логику изложения экспериментального материала.

Главы 2, 7, 8 написаны В.А. Барабанщиковым, главы 3, 4, 5, 6 — В.И. Белопольским, введение, глава 1 и заключение написаны авторами совместно.

Хотелось бы верить, что новая книга позволит читателю получить развернутое представление о базовых феноменах восприятия человеком окружающей среды и механизмах, обеспечивающих его ориентировку в пространстве.

В. Барабанщиков
В. Белопольский
Апрель 2007 г.

Глава 1. ПРОБЛЕМА СТАБИЛЬНОСТИ ВИДИМОГО МИРА

1.1. Феномен и первые попытки интерпретации

При рассматривании окружающей сцены глаза человека совершают быстрые движения с частотой 3–4 раза в секунду. При этом происходит смещение проекции неподвижных объектов по реципирующей поверхности глаз сетчатки. И хотя подобные смещения ретинального образа легко замечаются неподвижным глазом, в процессе движений глаз воспринимаемый нами мир остается стабильным. Относительное постоянство эгоцентрической локализации объектов непосредственно перед, во время и после завершения поворота глаз получило название константности зрительного направления или *стабильности видимого мира*. Данное явление указывает на недостаточность ретинальной информации для построения адекватного представления о состоянии окружающий среды и на необходимость обращения к окуломоторной активности, включенной в зрительной процесс. Обратной стороной стабильности видимого мира является возможность (в определенных, достаточно необычных, условиях) аконстантного восприятия зрительного направления, т.е. восприятия движения объектов вместе с перемещением глаз, независимо от перемещения их проекции по сетчатке.

Постановка проблемы стабильности видимого мира связана с именем Германа фон Гельмгольца (Helmholtz, 1866). Он заметил, что феноменальная стабильность сохраняется только при активных произвольных поворотах глаз, когда человек переводит взор в поисках какого-либо объекта, но нарушается в случае пассивного перемещения глазного яблока, например, при постукивании пальцем. В этой связи он ссылается на ряд клинических и экспериментальных наблюдений, согласно которым а) имеет место кажущееся смещение послеобраза во время саккад; в) наблюдается движение окружающих предметов

при попытке двигать парализованным глазом; c) воспринимается движение прослеживаемого объекта, когда его скорость совпадает со скоростью плавных движений глаз; d) отсутствует восприятие движения послеобраза во время пассивного смещения глаза.

На основании совокупности данных этого набора наблюдений Г. Гельмгольц пришел к выводу, что собственно *интенция* к *движению* (как при попытке двигать парализованным глазом) является таким же источником информации о состоянии зрительно воспринимаемого мира, как и сетчатка. Поэтому при активном движении глаз когда проекция объекта на сетчатке не меняется (послеобраз, точное прослеживание), порождается переживание движения объекта, при смещении изображения по сетчатке оно учитывается посредством бессознательных умозаключений, в результате чего возникает ощущение стабильности видимого мира.

Современник Г. Гельмгольца австрийский физик и философ Эрнст Мах описал феномен, связанный с попыткой совершить движение иммобилизированным глазом. Чтобы обездвижить глаз, он использовал оконную замазку: в этих условиях любая попытка переместить взор сопровождалась ощущением нестабильности внешнего окружения. На основе результатов этого и ряда других экспериментов Э. Мах высказал гипотезу о существовании «чувства иннервации», т.е. ощущения «посыла» к движению глаз, которое имеет статус самостоятельного источника информации о состояния среды (Мах, 1907).

Спустя несколько лет после Г. Гельмгольца, был предложен другой подход, объясняющий стабильность видимого мира и некоторые феномены зрительно-окуломоторной координации. Э. Геринг (Hering, 1879) развивал идею локальных знаков сетчатки, которые должны лежать в основе определения местоположения объектов. Сетчатка рассматривалась как масштабная сетка, позволяющая присвоить изображениям объектов на различных участках пространственные координаты.

Э. Геринг различает два вида пространственной локализаций: абсолютную и относительную. Относительная локализация представляет собой прямое восприятие пространственных отношений между объектами в поле зрения, абсолютная — ориентацию зрительных впечатлений относительно самих себя. Однако, как будет показано ниже, такое деление условно и неоднозначно. Э. Геринг пишет: «Во время каждого быстрого движения глаза изображения объектов внешнего мира смещаются по сетчатке и тем самым меняют свои

относительные координаты, но, несмотря на это, мы видим объекты неподвижными. Из этого вытекает, что изменение относительных пространственных координат, вызванное смещением изображений по сетчатке, компенсируется изменением абсолютных пространственных координат всего комплекса ощущений и всего поля зрения, а также каждого отдельного ощущения и каждого отдельно рассматриваемого объекта, что происходит во время каждого быстрого движения глаза. Оба изменения одинаковой величины, но противоположны по направлению. Если бы это не было так, объекты должны были бы изменять свое кажущееся положение во время быстрого движения глаза, должны были бы возникать кажущиеся движения и изменения. <...> Если вначале объект привлекает внимание, то изменение фокуса внимания и желание как можно точнее увидеть этот объект вызывают без нашего дальнейшего участия быстрое движение глаз. Уже до того, как начинается быстрое движение глаз, то место, которое является целью движения глаза, охвачено сознанием и вниманием, а положение этого места в поле зрения определяет направление и амплитуду быстрого движения глаз. В той же мере, в какой внимание меняет свой фокус в пространстве, одновременно меняются также абсолютные пространственные координаты сетчатки. То, что изменение абсолютных пространственных координат действительно вызвано только изменением фокуса внимания, а не возникшим вследствие этого быстрым движением глаза, доказывается тем, что первое явление наблюдается даже тогда, когда второе анормальным путем приостановлено» (Hering, 1879).

На основе рассуждений Г. Геринга можно допустить, что относительные пространственные координаты определяются вектором от фовеа до данного изображения на сетчатке. Таким образом, для системы изображение/сетчатка, по терминологии Р. Грегори (Gregory, 1958), точкой отсчета является фовеа. Для абсолютной локализации (в системе глаз/голова, по Грегори) системой отсчета является воображаемая горизонтальная ось на воображаемой медианной плоскости, исходящая от переносицы наблюдателя. При фиксации центральной точки на фронтопараллельной плоскости эта точка имеет нулевые относительные (проецируется на фовеа) и абсолютные (находится на медианной плоскости) пространственные координаты. При переводе взгляда на другую точку, расположенную на 10° левее первой, последняя приобретает относительные пространственные координаты — «10° правее» (от фовеа). В абсолютной системе координат определяется измененный угол между осью «циклопического глаза»

и направлением «прямо вперед». В данном случае ось «циклопического глаза» (субъективное направление взгляда) имеет координаты — «10° левее» (медианной плоскости или направления «прямо вперед»). Таким образом, возникают два смещения, которые равны по амплитуде, но противоположны по направлению. Это означает, что компенсация в третьей, эгоцентрической системе координат выполнена успешно.

Безусловного внимания заслуживает мысль Э. Геринга о том, что изменение абсолютных координат, т.е. определение угла поворота глаз относительно головы происходит уже до реального осуществления движения. Антиципация в системе восприятия, предшествующая движению, необходима Э. Герингу для объяснения кажущегося смещения видимого мира при попытке фиксировать парализованным глазом новый элемент среды. Очевидно, что информация о предстоящем повороте глаз поступает из «высших центров», где принято решение о перемещении взора.

Попытку объяснить сущность «компенсирующих факторов», отвечающих за сохранение восприятия неподвижности объектов во время быстрых движений глаз, предпринял П. Гиллебранд (Hillebrand, 1922). Он, как и Э. Геринг, полагал, что внимание направляется на новый объект еще до движения глаза. Одновременно с перемещением «центрального» внимания, смещаются границы поля зрения в соответствии с амплитудой и направлением будущей саккады. Подобно Герингу, он сделал вывод, что смещение во время движений глаз не воспринимается потому, что заблаговременно выполнено смещение центрального происхождения.

1. 2. Теории стабильности видимого мира

Эфферентные теории компенсации

Интерес к проблеме стабильности видимого мира возродился в середине XX в. и был связан с революционными работами Э. Хольста и Х. Миттельштадта (Von Holst, Mittelstaedt, 1950), которые решили, по их словам, «полностью перевернуть обычный взгляд на ЦНС». Отказавшись от рассмотрения причинной связи между афферентацией и эфферентацией, т.е. от идеи рефлекторной дуги, они стали анализировать события, которые происходят в орга-

низме, когда обратная связь от выполненного движения (реафферентация) поступает в ЦНС.

Э. Хольст и Х. Миттельштадт (Von Holst, Mittelstaedt, 1950) сообщили о трех сериях экспериментов с мухой. Показано, что при помещении мухи внутрь вращающегося полосатого цилиндра, она следует по направлению вращения последнего. После перевертывания головы мухи на 180° относительно оси тела так, что перевернуты левая и правая стороны, возникают противоположные эффекты. Поскольку зрительные сигналы оказываются перевернутыми, муха поворачивается против направления вращения цилиндра. На основе этих результатов авторы предположили существование специфических нейронов, контролирующих наблюдавшийся оптомоторный рефлекс. При расположении около мухи дополнительного (обонятельного) стимула в неподвижном цилиндре муха, поворачиваясь в сторону запаха, получает зрительную афферентацию, сходную с той, которая была получена при вращении цилиндра. Однако в этих условиях оптомоторный рефлекс не наблюдается: муха поворачивается и останавливается около источника запаха. Для доказательства отсутствия блокировки оптомоторного рефлекса у мухи, у которой была перевернута голова, был проведен третий эксперимент при дополнительном обонятельном стимуле. Поворачиваясь в неподвижном полосатом цилиндре, муха не останавливается у источника запаха, а продолжает движение до истощения. Но в оптически гомогенной среде муха движется нормально и останавливается в месте нахождения запаха. Из этого следует, что оптомоторный рефлекс не был блокирован. Те же авторы сделали сходное наблюдение на рыбах с глазами, перевернутыми на 180°: рыбы начинали кружиться только в оптически негомогенной среде.

Позднее Э. Хольст (Holst, 1954) обобщил результаты выполненных наблюдения. Для объяснения обнаруженных феноменов он вводит специальную терминологию. Все виды моторных сигналов обозначены у него как эфферентация. Последняя может иметь только центральное происхождение. Афферентация же может быть двух видов: афферентация на основе собственных движений, *реафферентация* (обратная афферентация) и афферентация на основе внешних причин — *эксафферентация*. Опыты, упомянутые выше, проводились в целях исследования реафферентации. Автор заключает, что, согласно результатам исследований, нарушение (обращение) реафферентации вызывает увеличение движения, а ее усиление уменьшает движение. В терминах кибернетики эти условия отвечают, соответственно, положительным и отрицательным обратным связям. Согласно

Э. Хольсту, каждая эфферентация оставляет «слепок» в ЦНС, сопоставляющийся с соответствующей реафферентацией. Этот слепок он называет *«эфферентной копией»*.

В том же 1950 г. Р. Сперри опубликовал экспериментальное исследование, ставшее классическим. Перевертывая хирургическим путем глаза рыб на 180°, он обнаружил у них сильную тенденцию кружения на месте. Разрушая и удаляя участки мозга, Р. Сперри доказал решающее значение взаимоотношений между оптическими и неоптическими факторами в возникновении кружения оперированных рыб. Было найдено, что одинаковая зрительная афферентация, вызывая кружение в одном случае и не вызывая его в другом, находится в полной зависимости от направления движения рыбы. Р. Сперри пришел к заключению, что одной оптической информации недостаточно для возникновения движения, а само движение рыбы выступает как детерминирующий фактор перцептивного процесса: «Любой паттерн возбуждения, который нормально вызывает перемещение зрительного изображения на сетчатке (вследствие собственного движения.— *В.Б., В.Б.*), может иметь побочный разряд в зрительные центры для компенсации сетчаточного перемещения. Это означает, что в зрительных центрах происходит предварительная регулировка, специфичная для каждого движения в соответствии с его направлением и скоростью. Центральный регулирующий фактор подобного рода может способствовать сохранению стабильности зрительного поля в нормальных условиях во время возникновения внезапного движения глаза, головы или туловища». (Sperry, 1950, p. 488).

В течение десятилетия идеи Э. Хольста, Х. Миттельштадта и Р. Сперри об эфферентной регуляции в зрительном восприятии были малоизвестны. Только после обзора Г. Тойбера (Teuber, 1960) термины «побочный разряд» (corollary discharge) и «принцип реафферентации» приобрели огромную популярность.

Сравнивая два, по сути, очень близких направления исследований, отметим, что если Р. Сперри ограничивался утверждением возможной роли «побочных разрядов» в регуляции процессов восприятия, то Э. Хольст попытался использовать идею в качестве принципа, объясняющего стабильность видимого мира. Он показал, что реафферентация может иметь два источника — смещение изображения по сетчатке и импульсацию от чувствительных клеток в мышцах глаза (проприоцепция). Считая, что осознается и, следовательно, имеет значение только смещение изображения по сетчатке, он проанализировал проведенный Э. Махом (Mach, 1885) и повторенный А. Корнмюллером

(Kornmüller, 1931) эксперимент с искусственной иммобилизацией глаза и с дополнительным анестезированием мышц. Согласно его представлениям, при попытке повернуть глаз направо производится соответствующая эфферентная копия, но реафферентации не поступает. Эфферентная копия оказывается неаннулированной, передается в высшие центры и вызывает восприятие кажущегося смещения всех окружающих предметов направо. Поскольку, утверждает Э. Хольст, в афферентных путях ничего не происходит, воспринятое смещение должно быть полностью отнесено к эфферентной копии. Иная картина наблюдается в том случае, когда парализованный глаз поворачивают направо пассивно. Здесь отсутствуют как «моторное стремления», так и эфферентная копия. Поскольку изображение смещается по сетчатке, то в мозг поступает зрительная афферентация и смещение окружения воспринимается влево. В третьем случае, при нормальном скачке глаз, существует «моторное стремление», соответствующая ему эфферентная копия и соответствующая саккаде реафферентация. Благодаря взаимной компенсации эфферентной копии и реафферентации движение не воспринимается. Сходным образом объясняется константность величины с «принятием в учет» степени аккомодации. Э. Хольст отмечает достоинства своей теории, которая, подобно примерам из естественных наук, «будет в состоянии точно предсказывать, что может случиться в конкретных условиях и, таким образом, позволит экспериментальным путем подтвердить или отклонить эту теорию» (Holst, 1954).

Таким образом, Э. Хольстом и Х. Миттельштадтом была сформулирована так называемая *«эфферентная»* (outflow) теория, которая получила наибольшую популярность среди исследователей феномена константности зрительного направления во время движений глаз (Миттельштадт, 1960; Грегори, 1970; Sperry, 1943; Hoist, 1954; Teuber, I960; Helmholtz, 1962; Mack, 1970; Festinger, 1970, 1971; Epstein, 1973; Hoist, Mittelstaedt, 1973, Jung, 1973; Mackay, Mittelstaedt, 1974; Jeannerod, Kennedy, Magnin, 1979; Stark, Bridgeman, 1983; Gruesser, 1986; Mittelstaedt, 1990). К числу идейных вдохновителей эфферентной теории часто относят Г. Гельмгольца (1866), Э. Маха (1907) и В. Джемса (James, 1890).

Согласно этой теории, перед поворотом глаз в ЦНС формируется негативный информационный слепок предполагаемого движения — «эфферентная копия» (шире: состояние готовности зрительной системы — см.: Mackay, Mittelstaedt, 1974), которая в ходе поворота глаз элиминируется положительной информацией о смещении проекции объекта по сетчатке (рисунок 1.1).

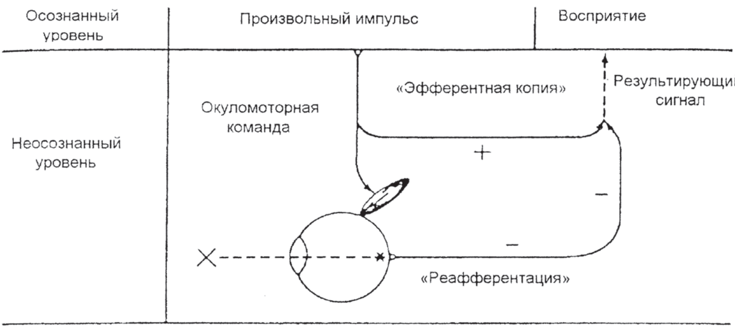


Рис. 1.1. Восприятие как результат взаимокомпенсации «эфферентной копии» и «зрительной реафферентации» (Host, 1957)

Соответствие эфферентации и зрительной реафферентации порождает стабильное восприятие действительности, несоответствие — восприятие ее движения (Holst, Mittelstaedt, 1973). Тот или иной перцептивный эффект и его характеристики (скорость, направление и амплитуда переживаемого движения) являются результатом сложения векторов целенаправленного движения глаз и смещения ретинального образа (Whipple, Wallach, 1978; Wallach, O'Leary, MacMahon, 1982; Mateeff, Yakimoff, Hornshbein, Ehrenstein, 1991). В несколько иных терминах данный процесс можно представить как взаимное торможение альтернативных систем восприятия: изображение/сетчатка и глаз/голова, когда последняя активируется не реальным поворотом глаз, а командой к движению (Грегори, 1970).

Константное восприятие зрительного направления требует выполнения двух условий: 1) активного (целенаправленного) перемещения глаз и 2) ретино-окуломоторного соответствия (совпадение амплитуды, скорости и направления смещения ретинального образа и вызывающего его движения глаз[1]). Поэтому при пассивном повороте глазного яблока (Max, 1907) или при стабилизации изображения объектов относительно сетчатки (Mack, Bechant, 1969), когда хотя бы одно из условий нарушается, наблюдатель воспринимает кажущееся движение объектов. Напротив, во время саккадических движений

[1] Параметры окуломоторики оцениваются в единицах поворота глаза относительно головы, а смещение ретинального образа — в тождественных им единицах зрительного угла.

глаз, когда выполняются оба условия, объекты окружающей наблюдателя действительности воспринимаются неподвижными.

В зависимости от возможного использования информации об амплитуде поворота глаз относительно головы перцептивная стабильность может быть обеспечена двумя путями: а) непрерывным — в виде компенсации перемещения ретинального образа относительно сетчатки и б) дискретным — в виде компенсации разности положений ретинального образа до и после поворота глаз. Первый предполагает механизм детекции изменений проксимальной стимуляции, второй — механизм измерения амплитуды (угла) поворота глаз относительно головы (Stoper, 1967; 1973; Shebilske, 1977).

Точный эфферентный прогноз и оценка визуальной ситуации касаются преимущественно саккадических движений; эфферентная информация о плавных прослеживающих движениях носит общий, не всегда адекватный характер, вызывая разнообразные иллюзии восприятия движения (Луук, Барабанщиков, Белопольский, 1977; Mack, Herman, 1972, 1973; Mack, Fendrich, Sirigatti, 1973; Festinger, Easton, 1974; Coren, Bradly, Hoenig, Girgus, 1975; Festinger, Sedwick, Holtzman, 1976; Bradly, 1977). Возникающее рассогласование между относительно точным направлением поворота глаз на целевой стимул и его ложной локализацией (аконстантностью зрительного направления) позволяет наряду с «эфферентной» дифференцировать «афферентную копию»[2] (Hershberger, 1976). Если первая контролирует позицию глаз в орбите, то вторая задает их желаемую ориентацию, в терминах будущей оптической афферентации. Данное представление неплохо согласуется с известными моделями регуляции движений глаз (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Robinson, 1975). Как показывают исследования, организация саккад предполагает наличие обеих копий, в то время как психофизическая оценка зрительного направления зависит только от «афферентной копии» (Hershberger, 1987).

Афферентные теории компенсации

В отличие от «эфферентной» *«афферентная»* (inflow) теория полагает, что информация о движении/направленности глаз обеспечивается проприоцепцией наружных мышц (Джемс, 1991; Гуревич, 1971; Сеченов, 1952; Sherington, 1918; Ludwigh, 1952; Skavenski, 1972; Shebilske, 1978; Steinbach, 1987) (рисунок 1.2).

[2] Имеется в виду прототип того, что должно быть сымитировано.

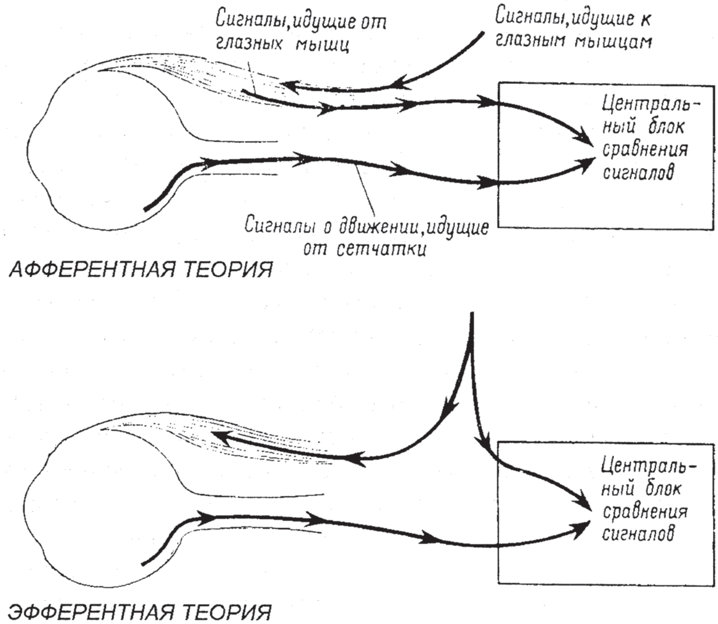


Рис. 1.2. Различие способов интеграции зрительного и окуломоторного сигналов, допускаемых афферентной (А) и эфферентной (Б) теориями стабильного видимого мира (Грегори, 1970)

Подобно скелетной мускулатуре, мышечный аппарат глаза снабжен рецепторами, которые информируют соответствующие инстанции ЦНС о направленности или перемещении глазного яблока (Гранит, 1973; Whitteridge, 1960; Bach-Y-Rita, 1972). Проприоцептивная обратная связь позволяет контролировать не только произвольные, но и непроизвольные формы окуломоторной активности как на свету (при участии зрения), так и в темноте (при закрытых глазах) в условиях различного положения головы, наклонов туловища или ходьбы. Самим наблюдателем проприоцептивная афферентация может не осознаваться (Brindley, Merton, 1960; см. также: Skavenski, 1972, 1976).

Выделяют два относительно независимые источника информации о состоянии экстраокулярных мышц: 1) изменение длины мышечных веретен (условия изотонии) и 2) изменение напряжения мышц (условия изометрии); последнее опосредствуется γ-эфферентацией интрафузальных мышечных волокон и представляет своего рода «гиб-

ридный механизм» (Matin, 1976) константности зрительного направления. Благодаря двойственности проприоцептивной афферентации при парализации экстрафузальных волокон, интрафузальные сохраняют активность и могут принять участие в образовании различных перцептивных эффектов (Matin, 1976; Stevens, Emerson, Gerstein, Nenfeld, Nichols, Rosengnist, 1976; Shebilske, 1977). В обычных условиях, по-видимому, напряжение мышц и их длина связаны инвариантными отношениями.

Для обозначения информации о позиции, перемещении и интенции к движению глаз, несводимой непосредственно к положению проекции целевого объекта на сетчатке, чаще всего используется понятие *экстраретинального сигнала* (Matin, Pola, Pearce, 1968; Matin, 1972; Skavenski, Haddad, Steinman, 1972; см. также: Matin, 1986; Mack, 1986; Bedell, Klopfenstem, Yuan, 1989). Это понятие фиксирует необходимость привлечения дополнительных (окуломоторных) источников пространственной информации без уточнения их природы, сохраняя при этом собственно принцип реафферентации — исключение из целостного потока зрительной афферентации той его части, которая связана с перемещениями глаз наблюдателя.

Механизм соотнесения ретинального и экстраретинального сигналов также представляется по-разному. Базовая модель констелляции (взаимокомпенсации сигналов, поступающих из различных источников), предложенная Э. Хольстом и Х. Миттельштадтом (Х. Миттельштадт, 1960; Holst, Mittelstaedt, 1974), имеет, по крайней мере, два ограничения. Во-первых, в ней отсутствуют средства адаптации к кардинально новым условиям функционирования ГДС. Например, при изменении знака зрительной обратной связи окуломоторной системы объяснить возможность появления перцептивных приспособительных эффектов, в том числе восстановление стабильного восприятия, довольно трудно. Во-вторых, модель констелляции предполагает высокую точность совпадения сигналов. Как известно, зрительная система очень чувствительна к малым смещениям и способна регистрировать (без визуальной системы отсчета) изменения положения объекта в 20» (Basler, 1906; Henderson, 1971). Это означает, что команда на перемещение глаз, амплитудой в 10° должна вызывать движение с ошибкой не более 0.06%. В действительности же саккада на заданную цель может выполняться с ошибкой в 10% и более (Барабанщиков, 1997; Митрани, 1973). Правда, упрек в неточности непосредственно касается теории компенсации положения и частично афферентной теории (Ludwig, 1952; Mackay, 1962; Wallach, Lewis, 1966; Stoper, 1968, 1973).

Согласно Р. Хелду (Хейн, Хелд, 1965; Held, 1961), приспособление к измененным условиям восприятия, а также развитие зрительно-моторных координации предполагает не только взаимовычитание ретинального и экстраретинального сигналов, но и их хранение в памяти. Он вводит промежуточный блок операций — *коррелятивный накопитель*, в котором содержатся следы предшествующих комбинаций эфферентных и реафферентных сигналов. Каждый новый эфферентный сигнал (команда о повороте глаз) актуализирует комбинацию, содержащую идентичную с ним эфферентную часть, извлекая тем самым соответствующий след реафферентного сигнала. Последний посылается в компаратор и сравнивается с текущим реафферентным сигналом; исход сравнения определяет восприятие окружающего как движущегося или неподвижного. В тех случаях, когда возможна актуализация различных комбинаций сигналов, их выбор из накопителя производится с разными весами в зависимости от свежести следов. Если же актуализируются сразу несколько равновероятных следов, в компаратор одновременно поступает ряд возобновленных реафферентных сигналов, что ведет к неопределенности и ненадежности перцептивного результата. С этим связано, например, ухудшение координации движений, вызываемое изменением привычной обстановки.

Теории межсаккадической интеграции

Роль мнемических элементов, в частности, *иконической памяти*, в образовании стабильности воспринимаемого мира подчеркивается многими исследователями (Сперлинг, 1967; Зинченко, 1968; Haber, 1969; Dick, 1974 и др.). Проблема сводится к реконструкции стабильного и непрерывного восприятия из стабильных же, но дискретно данных кусков зрительной (ретинальной) информации — «икон», которые образуются за время одной фиксации. В этом случае эфферентным сигналам (окуломоторным командам) отводится роль средств, обеспечивающих транспозицию следов иконической памяти (Назаров, Гордеева, Романюта, 1972; Гордеева, Назаров, Романюта, Яровинский, 1972). Данный контекст предполагает тесную связь стабильности восприятия с феноменами саккадического и парасаккадического подавления (рисунок 1.3) — повышением порогов зрения непосредственно до, во время и после скачка глаз (см.: Луук, Романюта, 1972; Volkman, 1962; Schick, Riggs, 1968; Volkman, Schick, Riggs, 1968; Richards, 1969; Matin, 1974).

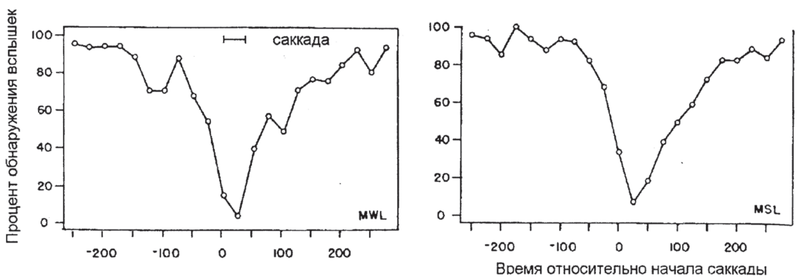


Рис. 1.3. Эффективность обнаружения локальных вспышек света до, во время и после выполнения саккады (Volkman, Schik, Riggs, 1968). Отрезок прямой указывает среднюю продолжительность саккады

В своих многочисленных работах, начиная с 1955 г., английский кибернетик Д. Маккей отмечает ошибочность идеи стабилизации воспринимаемого мира путем компенсации: ЦНС должна не элиминировать сенсорную реафферентацию, возникающую вследствие поисковых движений (саккад), а *оценивать*. Вводимый им постулат предельно прост: мир всегда воспринимается как стабильный до тех пор, пока не появляются основания, убеждающие в обратном (принцип информационной инерции). Соответственно функцией зрительной системы является не сохранение стабильности, а обнаружение изменений.

При построении концепции Д. Маккей исходит из положений теории информации, в соответствии с которыми окружающий мир можно рассматривать в качестве источника внешних и внутренних ограничений, которым организм противопоставляет организацию своей активности, в частности, локомоцию. В этой связи восприятию отводятся две функции: (1) оценка и селекция активности эффектора и (2) учет информации, содержащейся в среде при организации своей активности.

Отвечая на вопрос, что нужно для восприятия объективных изменений в среде, Д. Маккей (MacKay, 1972) начинает с анализа ситуации, в которой окружающий мир стабилен. В этих условиях функцией зрения является обеспечение внешней обратной связи, с помощью которой организм может управлять собственным перемещением в мире. Д. Маккей утверждает, что локализация объектов стабильного мира должна иметь постоянное внутреннее представи-

тельство, благодаря которому организму презентируются ограничивающие локомоцию внешние обстоятельства. В этом случае пока мир остается неизменным, использовать данные сенсорного входа нет необходимости. Если некоторые объекты начинают перемещаться, то поправки во внутреннее представительство вводятся на основе информационной оценки поступающих с сетчатки сигналов. Таким образом, «карта» внешнего мира включает в себя информационное содержание стимулов и предназначена для сохранения стабильности, а не для обнаружения изменений.

Рассматривая стабильность видимого мира в связи с произвольными саккадическими движениями глаз, Д. Маккей приходит к выводу, что «побочные моторные разряды» нужны не для сопоставления с сенсорной афферентной информацией, а для установления подходящих критериев оценки. Поскольку изменение сетчаточного изображения (сенсорного входа) вследствие произвольной саккады является не только результатом движения, но и его целью, то задача «побочных разрядов» заключается в установлении критерия, согласно которому сенсорный вход должен скоррегировать внутреннее представительство для достижения *интерпретации* воспринимаемого мира как стабильного. Отклонение критерия от заданного значения может вызвать перцептивный эффект, сходный с изменением афферентации. Д. Маккей (MacKay, 1972) разясняет свою точку зрения на следующем примере. Для ЦНС различия между объективными изменениями окружающего мира и изменениями вследствие произвольных саккад аналогичны изменениям между заданным вопросом и полученным ответом. Допустим, что слепой задает ряд вопросов относительно стабильности окружающего его мира. В соответствии с формой заданных вопросов корректные ответы должны быть различными. Но само по себе различие ответов не может служить основанием для вывода, что мир нестабилен. Оценка ответа происходит только на основе заданного вопроса. В случае зрительного восприятия эфферентные команды выступают как вопросы, ответами на которые служат перемещения изображений по сетчатке. Д. Маккей не отрицает полезной функции подавления или компенсации глазодвигательных сигналов, но не считает их необходимым условием для восприятия стабильного мира.

Дальныйшие исследования показали, что зрительная система значительно чувствительнее к непрерывному движению изображения по сетчатке, чем к дискретным перемещением на то же расстояние. Следовательно, величина воспринятого смещения является совокуп-

ным результатом функционирования двух систем, одной — чувствительной к дрейфу, другой — к изменению положения. Д. Маккей (MacKay, 1973) подчеркивает тот факт, что человеческий глаз, имеющий фовеа, перемещается саккадами, а не плавными движениями. Целью этих движений является резкое смещение сенсорного поля сетчатки. Следовательно, информацией о стабильности мира во время саккад нервную систему обеспечивает *изменение в положении* изображения на сетчатке, а не его непрерывное движение. Согласно рассмотренной концепции для достижения стабильного восприятия от зрительной системы не требуется точное измерение перемещения. По-другому обстоит дело в случае прослеживания. Для поддержания фиксации движущейся цели или неподвижной цели при локомоции глаз имеет тонкие рефлекторные и компенсаторные механизмы, разрешающая способность которых выше, чем у механизмов саккадических движений.

Таким образом, по мнению Д. Маккея (Mackay, 1962; 1972; 1973; Mackay, Mittelstaedt, 1974), стабильность восприятия представляет собой «нулевую гипотезу», которая «выдвигается» до получения новой визуальной информации и становится опорой в организации самих фиксационных поворотов глаз. Поэтому роль компаратора заключается не в конселляции, а в *оценке* ретинального сигнала. Произвольные движения глаз — своего рода вопросы о состоянии воспринимаемого мира, которые задаются зрительной системой. В зависимости от формы вопроса (амплитуды, скорости, направления движений) ответы на них (смещения ретинального образа) будут меняться, сохраняя некий инвариант, на котором основывается конечный перцептивный эффект. Для того чтобы интерпретировать тот или иной отдельный ответ, надо знать, какому вопросу он соответствует. Иначе говоря, информация, представленная в форме ответа (зрительная реафферентация) должна быть сопоставлена с информацией, представленной в форме вопроса (окуломоторная эфферентация). Взаимодействие между ними является логической операцией, которая легко может быть автоматизирована, но включает в себя нечто большее, чем «вычитание» или «подавление».

Несмотря на, казалось бы, радикальный шаг, теория Д. Маккея сохраняет парадигму Э. Хольста и Х. Миттельштадта. Так как ни ретинальный, ни экстраретинальный сигналы сами по себе не способны отвергнуть «нулевую гипотезу» стабильности, единственным источником фальсификации оказывается их соотношение (линейная комбинация). Это означает, что и ретинальная, и экстраретинальная

информация выступают в качестве предельных детерминант внутренней репрезентации эгоцентрического направления, а существование «нулевой гипотезы» не всегда оправданно.

Учитывая позицию Д. Маккея, модель Э. Хольста и Х. Миттельштадта можно дополнить следующими положениями: (1) стабильность восприятия нарушается лишь в том случае, если ретинальный и экстраретинальный (эфферентный) сигналы отличаются на некоторую пороговую величину; (2) величина порога (шире: критерий соответствия сигналов) определяется во время перемещения глаз. В модельной форме они реализуются через введение дополнительного ограничителя, контролируемого эфферентным сигналом. Отметим, однако, что данное представление не приложимо к теории констелляции положения (Stoper, 1967). В отличие от базовой данная модель наделяет компаратор функцией контроля за перемещением глаз: допускается, что характеристики эфферентного сигнала, воздействующего на наружные мышцы глаза, зависят от рассогласования актуального и ожидаемого местоположений ретинального образа.

Из сказанного следует, что центральный блок модели Э. Хольста и Х. Миттельштадта можно представить как относительно самостоятельную систему регистрации, хранения, оценки и использования информации, поступающей в ЦНС из самых различных источников (см.: Kolers, 1972). Это не только акцептор, но и *интерпретатор* зрительных данных, и *регулятор* исследовательских (произвольных) движений глаз. Он имеет иерархическое строение, предполагает сложный узел интермодальных взаимодействий и выполняет роль ключевого механизма перцептивного процесса в целом.

Наконец, целесообразно упомянуть теории, подчеркивающие ведущую роль *опыта* в восприятии человеком стабильности или движения окружающей среды (Митрани, 1973; Надирашвили, 1976; Рок, 1980; Найссер, 1981; Vernon, 1937; Piaget, 1969; Teylor, 1962; Kolers, 1972; Rock, 1983). Согласно этим теориям, переживаемое состояние среды определяется содержанием когнитивных структур (перцептивной схемы, карты, сценария, внутренней модели мира, программы, установки), актуализируемых наблюдателем в данный момент времени. Если, допустим, перцептивная схема, в которой презентирована система отношений наблюдателя и среды, исключает возможность перемещения элементов ситуации, их движение не воспринимается (Vernon, 1937). По мнению Дж. Тейлора (Taylor, 1962; см. также: Festinger, Burnham, Ono, Bamber, 1967; Festinger, 1971), восприятие той или иной информации всегда опосредуется соответс-

твующей программой или готовностью к действию. В тех случаях, когда такая готовность отсутствует, восприятия не происходит. Так, мы не переживаем смещения окружающих объектов во время саккад потому, что ответ на подобный стимул не несет содержательной нагрузки, а его программа не сформирована. Кажущееся же движение объектов при внешнем смещении глазного яблока обусловлено новизной и необычностью этого явления (Митрани, 1973). Данная группа теорий представлена в литературе имплицитно и требует существенной эмпирической проработки. Как показывает анализ, «готовность к восприятию», «программа действия» и подобные им образования сравнительно легко могут быть описаны и в терминах эфферентного сигнала (Festinger, Canon, 1966; Festinger, 1971).

Б. Бриджмен, А. Ван дер Хейден и Б. Величковский (Bridgeman et al., 1994) сумировали аргументы, которые, по их мнению, опровергают предложенные ранее способы решения проблемы стабильности, а именно элиминирование (компенсацию), перешифровку (использование памяти) и оценку. Они предложили другой новый механизм — «калибровку», согласно которому пространственно-топические позиции объектов вычисляются заново для каждой фиксации. Это означает, что после окончания саккады зрительная система формирует пространственные координаты объектов внешнего мира (относительно друг друга и относительно наблюдателя) как бы с нуля. Данные для этих вычислений поступают от эфферентных, афферентных и сетчаточных источников, а саккадическое подавление сетчаточного смещения нивелирует ошибки разных источников пространственной информации относительно реальной амплитуды движения глаз.

Известные комментарии этой точки зрения (см.: Behavioral and Brain Science, 1994, 258–292) указывают на ее противоречия и недостаточную определенность в описании механизма калибровки. Один из контраргументов состоит в том, что эффекты стабильности/смещения имеют скорее локальный, а не глобальный характер. Так, в исследовании Дж. Макконки и К. Курье (McConkie, Currie, 1996) в момент скачка глаза на заданный на картине объект смещали либо сам этот объект, либо фон, оставляя объект неподвижным, либо фон вместе с целевым объектом. Оказалось, что лучше всего замечается движении цели, хуже — фона вместе с целью. На основании этих и других экспериментов авторы предложили теорию стабильности видимого мира, в соответствии с которой решающая роль отводится процессам пространственной ориентировки в зоне будущего объекта

фиксации. Особая роль ожидаемой позиции нового предмета в порождении стабильности воспринимаемого мира показана в экспериментах В.А. Барабанщикова (1990; 1997).

Теория непосредственного восприятия

Рассмотренная группа теорий базируется на допущении, что восприятие зрительного направления опосредствуется абсолютной локализацией проекции фиксируемого объекта на сетчатке. Только в этом случае становится необходимым экстраретинальный сигнал, учитывающий позицию глаз в орбитах. Другим допущением модели является способность наблюдателя выполнять «бессознательные умозаключения» (Helmholtz, 1962; Hochberg, 1974) о состоянии окружающей среды. Но возможен и альтернативный подход, в соответствии с которым зрительное направление того или иного элемента среды презентируется наблюдателю через его отношение к направлениям других воспринимаемых элементов. С этой точки зрения существенной оказывается структура проксимальной стимуляции (ретинального сигнала), а наблюдатель непосредственно вычленяет оптические переменные «высшего порядка», которые при движении глаз остаются инвариантными (Бауэр, 1979; Гибсон, 1988; Linksz, 1952; Gibson, 1954; 1957; 1968; Gibson, Spelke, 1983). Здесь также можно выделить несколько теорий, которые в отличие от предыдущих не получили пока широкой экспериментальной проверки. Так, Линкз высказал предположение, что константность зрительного направления задается статической перспективой. По Т. Бауэру (1979), естественной системой отсчета, в координатах которой определяется локализация объекта, являются видимые части носа (рисунок 1.4).

И в том, и в другом случае зрительное направление оценивается безотносительно к абсолютной позиция (направлению) глазного яблока, однако статическая перспектива влияет не столько на перцептивный, сколько на когнитивный процесс в целом, причем нередко оказывается неэффективной (Gibson, 1966); а нос выполняет функцию системы отсчета лишь тогда, когда он находится в непосредственной близости от плоскости воспринимаемого предмета (эффект Пиноккио) (Shebilske, 1978)

Наиболее проработанной выглядит теория *непосредственного восприятия*, предложенная Дж. Гибсоном (Gibson, 1954, 1957, 1966, 1968, 1979). По его мнению, положение глаз наблюдателя определяется относительно объемлющего оптического строя. Животные

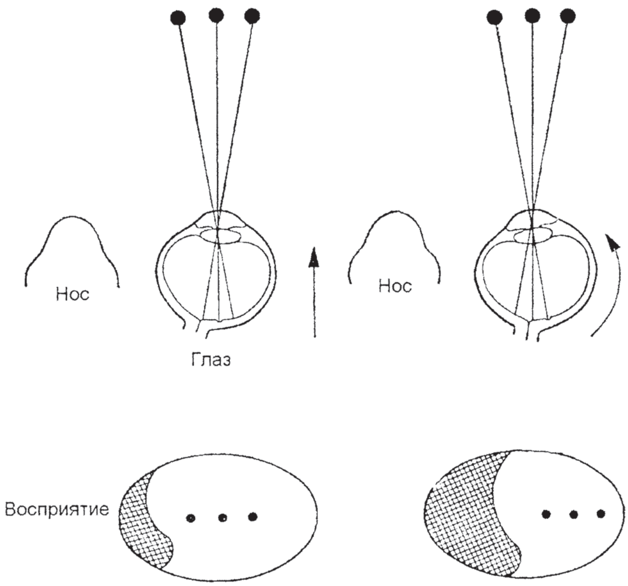


Рис. 1.4. Неизменность относительного положения воспринимаемых объектов и носа во время поворота глаз (Бауэр, 1979)

«видят», куда направлены их глаза, а не «чувствуют» или «знают» их направление по отношению к черепу или какой-нибудь другой поверхности организма. Любое изменение в направлении глаз, головы или туловища вызывает трансформации оптического строя, инварианты которых несут информацию о состоянии окружающей среды (принцип зрительных кинестезий). Так как оптический строй воспроизводит характеристики объективно стабильного мира, инварианты, специфицирующие его движение, отсутствуют (рисунок 1.5).

Именно поэтому он воспринимается изначально неподвижным. Инвариантом перцептивной стабильности среды во время собственных движений наблюдателя является наличие текстурного фона, множественность и полнота элементов, воздействующих на реципирующую поверхность сетчатки. В частности, чем больше телесный угол проксимальной стимуляции (чем полнее заполнено зрительное поле), тем выше вероятность стабильного восприятия. Трансформация зрительного поля в целом создает впечатление собственного движения наблюдателя или его глаз, причем вид этого движения

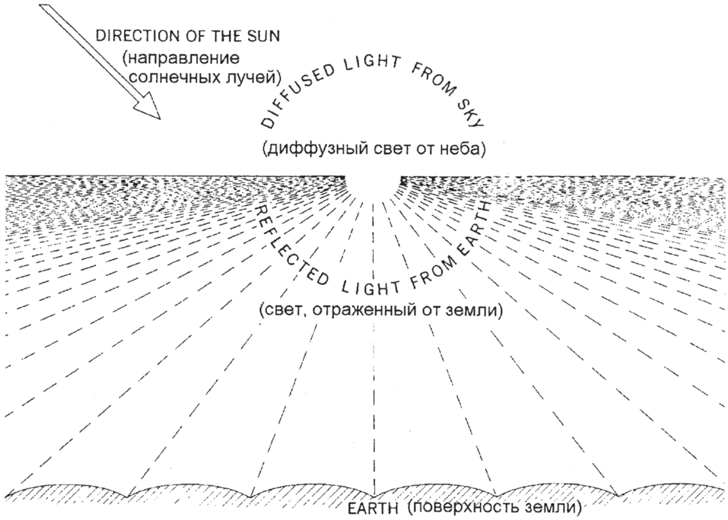


Рис. 1.5. Объемлющий оптический строй, исходящий от волнистой поверхности земли в условиях солнечного освещения (Gibson, 1988). На рисунке показано, что поверхность земли неровная, на ней есть складки или бугры, но она не заграждена. Пунктирные линии обозначают не лучи, а образующие зрительных телесных углов. Контрасты на диаграмме отражают разницу в освещенности бугров на поверхности земли. Это оптический строй в одной фиксированной точке наблюдения. На рисунке отображены основные инваринты естественной перспективы: разделение объемлющего строя на две полусферы у горизнта и возрастающая до максимума плотность оптической текстуры. Они остаются инвариантными даже тогда когда строй течет при перемещении точки наблюдения

зависит от вида трансформаций. Например, резкий сдвиг зрительного поля служит информационным коррелятом саккады; расширение или сжатие — коррелятом перемещения наблюдателя вперед или назад. Существенным в данном случае является тот факт, что эффективная точка наблюдения («точка зрения») не совпадает с центром вращения глаза (Nakayania, Loomis, 1974). В отличие от последнего она вынесена к переднему полюсу глазного яблока и локализуется у входа в зрачок. С изменением точки фиксации меняется и точка зрения, вызывая соответствующие преобразования оптического строя

(Bingham, 1993). Поэтому, например, то, что остается скрытым поверхностью носа при фиксации объектов, расположенных прямо перед наблюдателем, становится видимым при переводе взора влево или вправо (Марр, Оно, 1986), а моментальная скорость относительного смещения проекции объектов в ходе движения глаз оказывается функцией не только их удаленности, но и текущей позиции наблюдения (Koenderink, 1986). Внутренние изменения оптического строя, сопровождающие окуломоторную активность (двигательный параллакс, загораживание одних элементов среды другими), оказываются важными источниками информации о перцептивной стабильности или движении.

Утверждение относительности зрительного направления исключает или, по крайней мере, ограничивает использование представлений об эфферентной копии, экстраретинальном сигнале и других понятиях парадигмы опосредствованного восприятия. Излишними оказываются и обращения к квазиинтеллектуальным процессам, таким, как оценка, сравнение или бессознательный вывод (умозаключение). К сожалению, многие положения теории непосредственного восприятия остаются на уровне гипотез, не всегда приложимых к решению проблемы константности зрительного направления. Так, из-за высокой скорости перемещения глаз во время саккады и сопровождающих ее эффектов подавления и смазывания, выделение переменных высокого порядка (оптических инвариантов) оказывается практически невозможным (Brigemen, Hendry, Stark, 1975; Swanston, Wade, 1988).

Таким образом, константность зрительного направления представляет собой достаточно сложное явление, которое охватывает процессы, протекающие на разных уровнях организации зрительной системы, предполагает активное взаимодействие субъекта с окружающей его действительностью, требует привлечения полимодальной информации и прошлого опыта наблюдателя. Можно полагать, что каждая из рассмотренных концепций специфицирует отдельные стороны или измерения единого целого и потому не столько конкурирует, сколько дополняет другие. Но на какой основе могут быть объединены принципы реафферентации, информационной инерции, зрительной кинестезии и др.? Как синтезировать экспериментальные парадигмы, ведущие порой к разноречивым эмпирическим данным? Например, теории «бессознательных умозаключений» («эфферентная», «афферентная», «гибридная», «оценки») опираются преимущественно на эффекты восприятия точечных источников света в темноте, а теории «высших

переменных» — на восприятие экологически валидных событий. Какая парадигма могла бы учесть оба типа экспериментальных фактов? На сегодняшний день эти вопросы остаются открытыми. Ведущая же роль в разработке проблемы принадлежит эфферентным теориям, допускающим в большей степени, чем другие, выдвижение строгих эмпирически проверяемых гипотез.

1.3. Зрительное восприятие во время саккадических движений глаз

Все разновидности теории компенсации предполагают наличие точного соотнесения параметров движений глаз наблюдателя и вызванного им перемещения сетчаточного изображения, алгебраическое сложение которых в гипотетическом блоке компарации обеспечивает поддержание стабильного восприятия неподвижных объектов.

Дело обстояло бы достаточно просто, если бы параметры движений глаз поступали в зрительную систему непосредственно от органов движения — внешней глазной мускулатуры. Однако большинство модификаций теории компенсации предпочитают другой источник информации о движениях глаз — эфферентный командный сигнал как более соответствующий природе стабильного восприятия, спецификой которого является активность или произвольность.

Условия восприятия стабильности среды

Опережающий относительно реального выполнения движения характер эфферентного командного сигнала предъявляет особые требования к его точному соотнесению с сопровождающими движения глаз оптическими эффектами.

Требование позиционной точности является одним из основных пунктов критики эфферентной теории компенсации. Действительно, зрительная оценка смещения объекта достигает 2–3 угловых минут (Boyce, 1965), тогда как известно, что саккадическое движение глаз происходит со значительной ошибкой, достигающей в обычном диапазоне сканирования 2–3°, а при максимальных углах поворота (более 40–50°) — до 10°. Кроме того, величина ошибки при одном

и том же угле поворота глаз не является постоянной и имеет довольно большой интра- и интериндивидуальный разброс (Гуревич, 1971; Митрани, 1973; Becker, 1972).

То же самое можно сказать о скорости саккад, имеющих одну и ту же амплитуду. Обычно зависимость скорости саккады (средней или максимальной) от ее амплитуды приводят как один из наиболее весомых аргументов в доказательство препрограммированности, т.е. опережающего формирования мышечного усилия, эквивалентного будущему повороту глаз (Леушина, 1966). Однако эта зависимость относится к усредненным данным. Если же брать разброс (в пределах стандартного отклонения) значений скорости для саккады определенной амплитуды, то отдельное движение (например, на 10°) можно соотнести с эфферентной командой на поворот как в 5°, так и в 20° (Boghenetal, 1974).

Таким образом, простейшая схема компенсации по принципу алгебраического сложения двух типов сигналов вряд ли способна объяснить наличие стабильного восприятия из-за отсутствия точного соответствия между ними. Этот аргумент относится прежде всего к работе гипотетического компаратора, но не к принципу компенсации в целом. Одним из эффективных подходов к исследованию данного механизма является метод изменения естественной координации между движениями глаз и перемещением сетчаточного изображения. Именно этот принцип был реализован в экспериментах Е. Э. Хольста, Х. Миттельштадта и Р. Сперри (Holst, Mittelstaedt, 1950; Sperry, 1950). В экспериментах А.Л. Ярбуса (1965) испытуемые смотрели в укрепленное на глазной присоске зеркальце, ориентированное под углом 45° к фронтопараллельной плоскости. При повороте глаз, изображение неподвижного окружения перемещалось по сетчатке в сторону направления движения глаз, тогда как в обычных условиях рассматривания сетчаточное изображение смещается в противоположную сторону. Стабильность восприятия при этом нарушалась: испытуемые сообщали о движении всего зрительного поля.

Можно предположить, что механизм поддержания стабильного восприятия чувствителен, по крайней мере, к знаку сигнала, который компенсирует реафферентную, по терминологии Э. Хольста, информацию. Как же функционирует данный механизм в том случае, когда постулируемые теорией компенсации сигналы о движении (сетчаточный и эфферентный) не совпадают по величине, хотя и имеют противоположные знаки? Нетрудно заметить, что этот вопрос прямо связан с проблемой точности компенсации.

Экспериментальный ответ на него содержится в работах Г. Уаллаха и У. Льюиса (Wallach, Lewis, 1965) и А. Мэк (Mack, 1970), на которых следует остановиться подробнее. Уаллах и Льюис применили для изменения естественной величины перемещения сетчаточного изображения, вызванного поворотом глаза, оригинальный оптический метод, позволяющий наблюдателю рассматривать в данных условиях собственный зрачок, видимый как темный диск. Данный метод позволял в широких пределах варьировать коэффициент зрительно-моторной связи, увеличивая скорость движения сетчаточного изображения до 400% относительно скорости движения глаза или снижая ее почти до нуля. Во всем этом диапазоне испытуемые не видели движения цели, ощущая только изменение ее позиции относительно предметов обстановки, для которых сохранялись естественные условия наблюдения.

По мнению авторов, результаты их работы несовместимы с точкой зрения, что кажущийся покой зрительных объектов, чьи изображения на сетчатке сдвигаются вследствие движений глаз, не может быть объяснен компенсаторными процессами, которые принимают в расчет движение глаз. В этой работе, по мнению Стоупера (Stoper, 1967), впервые была сформулирована гипотеза о подавлении, или, как пишут Уаллах и Льюис, «игнорировании», информации о движении объекта, поступающей во время саккады, как возможном механизме стабильности восприятия.

Позднее А. Мэк (Mack, 1970), использовавшая в своем эксперименте ту же методологию — изменение естественного соотношения между поворотом глаза и перемещением цели,— обнаружила, что движение объекта может восприниматься и во время саккады. Ее испытуемые сидели перед экраном осциллоскопа, в центре которого постоянно высвечивалась световая точка. Горизонтальные (слева направо) саккадические движения глаз запускались вспышками лампочек, находящихся по краям экрана (20°) и гаснущими еще до начала движения. Таким образом, в поле зрения во время саккады находилась только световая точка, которую смещали на величину, равную 0, 1/20, 1/10, 1/5 или 2/5 от амплитуды поворота глаз (соответственно изменялась и ее скорость) и в различных направлениях — вправо, влево, вверх и вниз. Ответы испытуемых о воспринятом движении лишь незначительно зависели от направления смещения точки и распределились следующим образом: 0–7%, 1/20–12.3%, 1/10–40%, 1/5–83.2% и 2/5–89.7%. Сходная тенденция была обнаружена и для непроизвольных движений глаз, однако при случайных смещениях цели, не зависящих

от движений глаз наблюдателя (когда он видел «чужую» цель), процент точного опознания даже при минимальном (1/20) смещении составлял 70.3%. Эти данные позволили А. Мэк судить о диапазоне возможной неточности, или пороге компарации, эфферентного и сетчаточного сигналов. Верхняя граница этого диапазона, внутри которого стабильность восприятия не нарушается, лежит между 5 и 20% от величины сравниваемых сигналов.

Можно выделить два экспериментальных условия, обусловивших различие результатов Уаллаха и Льюиса, с одной стороны, и А. Мэк — с другой. Во-первых, это размер стимула — черный диск (зрачок) в одном случае, размеры которого были соизмеримы с амплитудами саккад, и световая точка в другом. Во-вторых, наличие в поле зрения дополнительных объектов — черный диск был виден на фоне неподвижных частей экспериментальной установки, а световая точка — в полной темноте. Анализ этих условий выдвигает важную проблему роли внешних систем отсчета в поддержании стабильного восприятия. На этом особенно настаивали представители школы гештальтпсихологии, которые объясняли с помощью отношений «фигуры» к «фону» такие феномены кажущегося движения (т.е. нарушения стабильного восприятия) как индукция движения фона на движение фигуры (Dunker, 1929) и автокинетическое движение неподвижного источника света, находящегося в полной темноте (Koffka, 1935). И. Рок и С. Эбенхольц (Rock, Ebencholtz, 1962) распространили этот принцип на механизм стробоскопического движения. Они доказали, что необходимым и достаточным условием восприятия движения между двумя последовательными диспозициями объекта, первая из которых относится к моменту времени, предшествующему саккаде, а вторая следует сразу после саккады, является их феноменальная, а не сетчаточная диспаратность. Этот факт представляет существенный интерес для тех теорий стабильности восприятия, которые довольствуются полной компенсацией или подавлением восприятия движения во время саккады, оставляя без внимания позиционные изменения стимула на сетчатке. Константность воспринимаемого направления зависит не столько от эфферентного сигнала, сколько от процесса идентификации объекта в координатах внешнего пространства.

Г. Орбан с соавт. (Orban et al., 1973) установили, что наличие или отсутствие видимого окружения оказывает решающее влияние на восприятие направления реального движения цели, предъявляемого во время саккады. Цель — световую точку — двигали со скоростью

40°/сек в той же плоскости, в которой совершались саккады. В темноте испытуемые обычно (в 82% случаев) сообщали о движении точки в направлении движений глаз, хотя реально они совпадали только в 50% случаев. Введение структурированного фона приводило к более объективному восприятию направления движения, которое опознавалось точно уже в 64% случаев. Интерпретация этих результатов с точки зрения теории компенсации представляет значительные трудности, склоняющие авторов к концепции Д. Маккея (MacKay, 1972).

Еще более обескураживающими для эфферентной теории компенсации являются данные, полученные Ф. Холи (Holly, 1975). Он также использовал в качестве целевого объекта световую точку на экране осциллоскопа, которая перемещалась во время саккады в том же направления, но со скоростями от 10°/сек до 4120°/сек. Условия, в которых испытуемые оценивали величину и траекторию пути, пройденного световой точкой, давали возможность видеть края экрана и некоторые окружающие его предметы. Один из главных феноменов состоял в том, что при равенстве скоростей глаза и цели, последняя воспринималась как неподвижная точка, т.е. в соответствии с сетчаточной, а не эфферентной информацией. Интересные данные были получены и относительно локализации начала воспринимаемой траектории движения, при скоростях ниже скорости движения глаза оно располагалось на левой стороне экрана, т.е. в том месте, где находилась точка до начала движения, а при более высоких скоростях начало воспринимаемой траектории смещалось вправо.

Требование различных объяснительных механизмов распространяется и на те экспериментальные условия, при которых глаз совершал диагональные саккады, а стимул двигался горизонтально. При медленных скоростях движения точки воспринимаемое направление совпадало с направлением движения глаза, при быстрых — имело противоположный вектор.

Близко к рассматриваемой группе работ располагаются исследования, в которых создавались условия стабилизации изображения объектов относительно сетчатки. Известно (и это является одним из решающих аргументов в пользу гипотезы существования эфферентного сигнала), что в данном случае при перемещения взора возникает ощущение движения (Helmholtz, 1866).

Одно из первых экспериментальных исследований связи движений глаз с воспринимаемым движением зрительного послеобраза провел К. Рексроуд (Rexroad, 1928). Он установил, что движение

послеобраза воспринимается только при поворотах глаз в сторону цели (при экстрафовеальном послеобразе). Когда же испытуемых вынуждали (с помощью дополнительных стимулов) делать не сравнимые по отношению к локализации послеобраза движения глаза, например, направленные в противоположную от него сторону, то, независимо от типа этих движений — плавных или саккадических — послеобраз исчезал и вновь появлялся в новой позиции через 2–3 сек.

Точные измерения связи направления движений, глаз и воспринимаемого движения послеобраза были выполнены А. Мэк и Дж. Бечантом (Mack, Bachant, 1969). Параллельная регистрация движений глаз и движений руки, следящей с помощью указки за перемещениями центрального послеобраза, позволило установить, что в 80% времени субъективные ощущения движения совпадают (прежде всего по направлению и в несколько меньшей степени по амплитуде) с движениями глаз. Оставшиеся 20% времени, когда такая корреляция отсутствовала, в значительной степени приходились на мелкие движения глаз (при нахождении их в центральной позиции) и на саккадические движения. На основании этих результатов авторы делают вывод о существовании и значительной (но не абсолютной) точности эфферентного сигнала, способного в обычных условиях рассмотрения обеспечить компенсацию сетчаточного перемещения и сохранить, тем самым, стабильное восприятие.

В более поздних работах, однако, стали накапливаться факты о том, что, в отличие от единичных стимулов, неподвижных относительно сетчатки, рассматривание сложных структурированных изображений, занимающих большую часть поля зрения, не приводит к восприятию движения или перемещения, хотя движения глаз имеют место и в этом случае (Зинченко, Вергилес, 1969; Притчард, 1974).

Детально эти различия были изучены Г.М. Зенкиным и А.П. Петровым (1976). Они предъявляли испытуемым или послеобраз белого прямоугольника, или объемный послеобраз экспериментальной комнаты с большим количеством элементов обстановки, обозначенные, соответственно, как «бедный» и «богатый» послеобразы. При смене объективно неподвижных точек фиксации, расположенных во фронтальной плоскости, наблюдаемые перцептивные эффекты зависели от типа образов. «Бедный» образ менял свое положение в пространстве, тогда как «богатый» оставался неподвижным, а видимые на его фоне точки фиксации скачком смещались в направлении, противоположном движению глаз.

Аналогичные наблюдения были сделаны и при плавных движениях глаз, прослеживающих перемещение фиксационной точки. «Бедный» образ был виден движущимся в пространстве вместе с точкой фиксации, а «богатый» и в этом случае оставался неподвижным. Точка фиксации, хотя и перемещалась объективно со скоростью 10°/сек на угол до 40°, также воспринималась неподвижной, а объективно неподвижные точки фиксации плавно смещались в противоположную сторону.

Избирательность влияния эфферентного сигнала и зависимость его реализации от структуры преобразований зрительного образа, обнаруженные в этом и целом ряде других экспериментов, ставят под сомнение сам факт участия эфферентной информации в механизме стабильности видимого мира.

Механизмы движений глаз и содержание эфферентного сигнала

Обычно доказательство существования эфферентного сигнала строят, исходя из различия перцептивных эффектов, возникающих при неподвижном и движущемся глазе — наблюдатель различает внешнее движение объектов и движения, вызванные поворотом глаза, хотя они имеет сходную сетчаточную афферентацию.

Поэтому, о содержании эфферентного сигнала судят, как правило, по результирующей между пространственной оценкой — расстоянием, локализацией, направлением и траекторией движения или его отсутствием и наличной реафферентацией. В связи с этим интересно сопоставить те представления о содержании эфферентного сигнала, которые сформировались в русле изучения механизмов управления движениями глаз, с теми, которые получены косвенным образом через феномены пространственного восприятия при движении глаз. Относительно саккадических движений глаз известно, что они являются баллистическими по природе, очень быстры и не могут корректироваться по ходу движения (Ярбус, 1965; Westheimer, 1954). Запускаются саккады сигналом позиционной ошибки между предыдущей и последующей точками фиксации, который достаточно точно воспроизводится углом поворота глаза. Следовательно, управляющая саккадой эфферентная команда вполне сопоставима с ожидаемым смещением сетчаточного изображения и поэтому, использование ее для объяснения феноменов стабильного восприятия возможно, хотя само наличие стабильного восприятия при саккадах еще не

доказывает участия в этом процессе эфферентной информации. Дело в том, что эфферентная команда является перекодировкой другого, еще более точного стимула,— зрительного,— определяющего метрику саккады (Леушина, 1974). Эту связь эфферентной команды со зрительным стимулом, задающим цель движения глаз, обычно упускают. Так, в схеме Э. Хольста не нашлось места для постулированной им эксафферентации. Игнорируют эту связь и в конкретных экспериментах. Иллюстрацией могут служить работы Л. Фестингера и Л. Кэнона (Festinger, Canon, 1965) и А. Мэк и Э. Герман (Mack, Herman, 1972), в которых стимулы для саккадического поворота глаза задавались вспышкой света на периферии поля зрения, а сделанные испытуемыми оценки о локализации вспышки или о расстоянии до нее от точки фиксации относили за счет эфферентной информации.

Как было показано выше, гораздо сложнее обстоит дело с плавными движениями глаз, которые возникают только при наличии в поле зрения движущегося объекта. Из того факта, что плавные движения глаз имеют ту же скорость, что и движение цели (Rashbass, 1961) обычно заключают, что именно параметр скорости является содержанием эфферентного сигнала для данного типа движений глаз. Между тем информация о скорости может поступать от специализированных детекторов сетчатки только при неподвижном глазе. В случае же точного и устойчивого прослеживания цели ее изображение остается неподвижным на сетчатке, и, таким образом, сетчаточная информация о скорости движения, да и о самом факте движения отсутствует.

Существует попытка представить проблему таким образом, что эфферентная система, управляющая плавными движениями глаз, использует перцептивный вход (Yasui, Young, 1975). Однако при этом сама возможность восприятия движения объясняется эфферентным сигналом, т.е. происходит как бы его самогенерация.

Более перспективным, на наш взгляд, является точка зрения, согласно которой контур регуляции движений глаз рассматривается как единая следящая система позиционного контроля, непрерывно учитывающая текущую зрительную афферентацию (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975). При таком подходе как саккады, так и плавные движения глаз являются формами реализации одной и той же двигательной функции, состоящей в обеспечении наилучших условий восприятия объекта. Тот или иной тип ответа связан не только с величиной позиционного сигнала в цепи прямой связи, но и с величиной зрительной обратной связи, а также внутренними параметрами работы системы.

Критический для эфферентной теории компенсации факт, что «выход» системы регуляции движений глаз не зависит однозначно от ее «входа», можно проиллюстрировать двумя примерами. Самый яркий заключается в том, что при переводе взора на объект, проекция которого попадает в экстрафовеальную зону сетчатки, обычная саккадическая реакция глаза может измениться на плавную, если окажется, что поворот глаза не влияет на положение объекта на сетчатке (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Kommerel, Täumer. 1972; Heywood, Churcher, 1972). Второй пример относится к фиксационным поворотам глаза, совершающимся в обычных условиях. Оказывается, что для точного наведения глаза на цель часто недостаточно одной саккады и, особенно при больших углах поворота, требуются дополнительные коррекционные саккады, число которых не фиксировано и может варьировать от 1 до 5 (Гуревич, 1971). Следует отметить, что при наличии коррекционных саккад испытуемые не ощущают ни промежуточных остановок, ни изменения локализации фиксируемой точки, т.е. их пространственное восприятие соотносимо с целостным актом фиксационного поворота, а не с отдельными саккадами.

По-видимому, динамические, а равно и статические свойства перцептивного образа не могут быть полностью сведены ни к «входным» параметрам системы глазодвигательной регуляции, ни к ее «выходу», ни к отдельному циклу сенсомоторного взаимодействия. Следовательно, от механизмов исходного уровня регуляции движений глаз, детерминанты которого определены в координатах сетчатки, необходимо перейти к уровню произвольного управления движениями глаз, характеристикой которого является целенаправленность, относительная свобода выбора объекта фиксации среди множества неподвижных и движущихся альтернатив.

1.4. Зрительное восприятие во время плавных движений глаз

При прослеживании движущегося светящегося объекта в темноте его проекция на сетчатке глаза практически не меняется. Тем не менее наблюдатели способны описать траекторию движения объекта и оценить его скорость (Грегори, 1970). Это обстоятельство выступает как достаточно веский аргумент в пользу существования

внесетчаточной, экстраретинальной информации о движении объекта, которая связывается с перемещением глаза в пространстве и включается в систему основных феноменов теории компенсации (Stoper, 1967). Однако более или менее подробный анализ восприятия абсолютного и относительного движения объектов во время плавных движений глаз показывает, что сама экстраретинальная информация является довольно неточной, а отношения между ретинальной и экстраретинальной информацией часто не могут быть описаны в рамках модели компенсации.

Восприятие пути и скорости движения объекта

Одно из первых наблюдений особенностей восприятия движущегося объекта в безориентирном поле зрения принадлежит Доджу (Dodge, 1904). Его испытуемые прослеживали колебания одной из двух светящихся точек, укрепленных на плечах разбалансированного маятника на равном расстоянии от центра вращения. Додж нашел, что воспринимаемая амплитуда колебаний прослеживаемой точки была почти в два раза меньше воспринимаемой амплитуды колебаний второй (не прослеживаемой) точки, хотя объективно амплитуды колебаний были равны. Этот результат позволил заключить, что зрительная система не использует информацию о плавных прослеживающих движениях глаз, а восприятие протяженности перемещения объекта в темноте полностью определено скольжением проекции объекта по сетчатке. Аналогичные результаты получили Г. Карр (Carr, 1907) и А. Форд (Ford, 1911).

Позднее было выполнено несколько работ, которые в целом подтверждают существование эффекта, обнаруженного Р. Доджем. Так, о воспринимаемом уменьшении пути замкнутой траектории движения при прослеживании светящихся объектов в темноте сообщили Наканов (1973), Л. Фестингер и А. Истон (Festinger, Easton, 1974). Правда, в этих исследованиях была сделана лишь общая оценка иллюзии уменьшения пути воспринимаемого движения. Показано, также, что при введении дополнительной фиксационной точки или при неожиданном одновременном высвечивании всей траектории движения объекта обнаруживается расширение воспринимаемой фигуры, которое, однако, никогда не превышает размеров объективной траектории. Поскольку перемещение глаза в пространстве определяется его скоростью и направлением, нетрудно предположить, что

уменьшение пути воспринимаемой траектории связано с недооценкой информации об этих параметрах.

В экспериментах А. Мэк и Э. Германа (Mack, Herman, 1972) оценивалось восприятие дистанции, которую проходит движущийся с постоянной скоростью прослеживаемый светящийся диск, и восприятие дистанции между двумя последовательно фиксируемыми целями. Было обнаружено, что воспринимаемая дистанция при саккадическом способе наблюдения почти тождественна объективной, а при прослеживающем способе наблюдения недооценивается в среднем на 13% (скорость движения объекта: 4.5°/сек и 10.5°/сек). Экспериментальный анализ показал, что существует определенное соотношение между восприятием скорости и восприятием дистанции во время прослеживания светящегося объекта в темноте, а именно недооценке воспринимаемой дистанции соответствует недооценка воспринимаемой скорости движения, причем величина недооценки скорости постоянна и не зависит от скорости перемещения объекта. По мнению авторов, результаты экспериментов указывают на то, что известные феномены восприятия движения могут быть результатом постоянной недооценки зрительной системой скорости прослеживающих движений глаз. Предполагается, что эфферентная оценка скорости прослеживающих движений глаз является первичной, а эфферентная оценка расстояния — вторичной, производной от нее.

На первый взгляд, при учете небольшой поправки на постоянную недооценку скорости результаты экспериментов А. Мэк и Э. Герман достаточно хорошо могут быть интерпретированы в терминах теории компенсации. Однако, если для высоких скоростей перемещения стимула ошибка в оценке скорости движения глаза, равная 1°/сек, является незначительной, то для низких скоростей она становится существенной. Более того, эта ошибка должна была бы привести к парадоксальному результату — отсутствию воспринимаемого движения при прослеживании объекта, перемещающегося со скоростью, меньшей или равной 1°/сек. Это явно не соответствует экспериментальным данным (Барабанщиков, 1977).

Результаты экспериментов Л. Фестингера и его коллег (Festinger, Sedwick, Holtzman, 1976) оказались еще более радикальными. В этих экспериментах испытуемые прослеживали колеблющуюся по горизонтали светящуюся точку и уравнивали воспринимаемое расстояние, которое проходит эта точка в течение одного полуцикла, с расстоянием между траекторией колебания прослеживаемой и непрослеживаемой, параллельной ей точки. Частота колебаний варьировалась от 0.125

до 1.00 Гц; диапазон угловых скоростей перемещения точки: 1.5°/сек — 12.6°/сек. Найдено, что величина воспринимаемого пути не зависит от пути, который прослеживался глазом, и колеблется относительно некоторого значения, меньшего минимальной величины объективного пути. По мнению авторов, зрительная система не имеет прямой информации о величине пути, который проходит глаз, но получает некоторую информацию о скорости его движения и интегрирует ее во времени. Предполагается также, что экстраретинальная информация о величине скорости не зависит от действительной скорости движения глаза и составляет около 1°/сек. Таким образом, в условиях данного эксперимента зрительная система «знает» только, что глаз движется, но скорость его движения остается неучтенной.

Очевидно, что выводы Л. Фестингера и др. надо рассматривать только применительно к конкретной экспериментальной ситуации, поскольку они не выдерживают критики при анализе восприятия движения в условиях относительно высокой линейной скорости перемещения объектов. В частности, исследования Юнга (1969) показывают, что при точном прослеживании одной из полос черно-белого паттерна оптокинетической стимуляции в широком диапазоне скоростей (5–50°/сек) воспринимаемая скорость движения соответствует объективной. К аналогичному результату пришли Ф. Кёрнер и Дж. Дичганс (Körner, Dichgans, 1967), которые исследовали восприятие скорости черно-белых полос в диапазоне скоростей ниже 5°/сек. Подтверждая существование парадокса Ауберта-Фляйшля и демонстрируя его в условиях слежения за объектом, эти исследования выдвигают дополнительные аргументы против концепции компенсации.

В. Фляйшль в 1882 г. и Г. Ауберт в 1887 г. обнаружили, что при фиксации неподвижного объекта движущийся объект воспринимается перемещающимся вдвое быстрее, чем при его прослеживании. Дальнейшие наблюдения подтвердили наличие парадокса, но указали на большую вариативность его величины (Dodge, 1904; Filehne, 1922; Brown, 1931; Dichgans, Körner, Voigt, 1969).

Парадокс Ауберта-Фляйшля обнаруживает неэквивалентность оценки скорости при помощи различных источников информации о движении. Если эфферентная оценка скорости, имеющая место в условиях точного прослеживания, в целом соответствует скорости перемещения объекта, то эфферентная оценка, основанная на перемещении проекции объекта по сетчатке, в 1.5–2 раза переоценивается (Юнг, 1969; Dichgans, Körner, Voigt, 1969). Более того, Р. Юнг (1969) показал, что при неточном слежении за объектом, связанным с ос-

лаблением внимания к объекту или со слишком высокой скоростью его движения (выше 70°/сек), когда рассогласование между положением стимула на сетчатке и фовеа непрерывно меняется, и эфферентный, и афферентный (сетчаточный) способ оценки скорости осуществляются одновременно. Так, при ослаблении внимания к объекту, движущемуся со скоростью 90°/сек, скорость плавных движений глаз падает до 20–30°/ сек, а соответственно, скорость перемещения изображения на сетчатке возрастает на 60–70°/сек. В этом случае скорость воспринимаемого движения равна 170°/сек. При точном же прослеживании объекта воспринимаемая скорость совпадает с реальной и равна 90°/сек. Таким образом, сигналы о скорости перемещения глаза, поступающие из различных источников в условиях прослеживания движущегося объекта не компенсируются, уничтожая друг друга, а интегрируются.

Важно подчеркнуть также, что скорость 90°/сек принадлежит к диапазону скоростей перемещения глаза во время мало- и среднеамплитудных саккад (Ярбус, 1965). Это обстоятельство позволяет прямо сравнивать эффекты восприятия, которые имеют место во время плавных движений глаз и скачков. Если допустить, что в основе восприятия движения и перцептивной стабильности лежит один и тот же механизм, работающий по принципу компенсации сигналов, то при осуществлении скачка сигнал о скорости перемещения изображения по сетчатке будет почти в два раза превышать величину сигнала о скорости перемещения глаза. Очевидный эффект такой компенсации — восприятие движения объектов в направлении, противоположном направлению поворота глаза. Однако этот перцептивный эффект противоречит привычным наблюдениям.

Другие работы, связанные с исследованием парадокса Ауберта-Фляйшля (Dichgans, Wist, Diener,Brandt,1975; Diener, Wist, Dichgans, Brandt, 1976) показывают, что в основе парадокса лежит не только различие в способах получения информации о движении объекта, но и особенности стимульного паттерна. Для широкого диапазона скоростей (от 5 до 100°/сек) парадокс Ауберта-Фляйшля исчезает, если испытуемым предъявляют движущуюся одиночную границу или узкую белую полосу. В этом случае и эфферентная, и афферентная (сетчаточная) оценка соответствует действительной скорости движения объекта. Во время фиксации неподвижной точки воспринимаемая скорость увеличивается с увеличением пространственной частоты стимульного паттерна или с уменьшением его пространственного периода. Однако, варьирование характеристик фона

во время прослеживания не изменяет оценку скорости воспринимаемого движения, которая опирается на эфферентную информацию.

Эти данные указывают на игнорируемую теорией компенсации многозначность процесса оценки скорости по сигналу, поступающему с сетчатки. Однако, не зная закономерностей этого процесса, вряд ли можно ответить на важный для теории вопрос: каким образом непрерывно меняющаяся неэквивалентная информация о скорости движения объекта, поступающая из различных источников, приводится зрительной системой к «общему знаменателю».

Группа С. Корена (Coren, Bradley, Hoenig, Girgus, 1975) проанализировала особенности движений глаз во время прослеживания объекта и установила, что с увеличением скорости движения объекта увеличивается рассогласование между положением стимула на сетчатке и фовеа, причем это рассогласование в сознании не фиксируется. Следовательно, если информация о движении цели в темноте выводится из информации о действительном положении глаза при слежении, то возможны различные перцептивные иллюзии. В частности, при слежении за целью, движущейся по кругу, отставание глаза от объекта может не учитываться, что должно выразиться в уменьшении воспринимаемого круга. Проведенные эксперименты показали, что при прослеживании светящейся точки, движущейся по окружности, диаметр воспринимаемой окружности уменьшается, причем уменьшение растет с увеличением частоты движения объекта и с уменьшением диаметра окружности вдоль которой происходит перемещение глаза. Было обнаружено также, что диаметр воспринимаемой окружности монотонно уменьшается с увеличением частоты вращения объекта, но лишь до частоты 1.3Гц. При этой частоте диаметр воспринимаемой окружности уменьшается на 27%. Дальнейшее увеличение частоты приводило к увеличению числа скачков, корригирующих рассогласование между актуальным положением цели на сетчатке и фовеа, и уменьшению наблюдаемой иллюзии. При вращении объекта с частотой 2.47 и 5.20 Гц иллюзия практически исчезала. Если движения глаз исключались (испытуемые фиксировали точку в центре круга), иллюзия сохранялась, но была значительно менее выражена; при частоте 1.3Гц диаметр воспринимаемой окружности уменьшался всего на 7%. Таким образом, иллюзия «сжатия круга» образуется и за счет информации о параметрах движений глаза, и за счет конфигурационального факта (Brown, Voth, 1937), однако первое доминирует. Очевидно, в данной ситуации информация о перемещениях изображения объекта на сетчатке не учитывается ЦНС. Несмотря на рассогласование между целью и фовеа

в несколько градусов, зрительная система получает лишь информацию о том, что путь цели такой же, как и путь, прослеживаемый глазом (фовеа). Следовательно, результаты исследования С. Корена (1975) указывают на отсутствие простого арифметического сложения ретинального и экстраретинального сигналов при прослеживании движущегося объекта, которое предполагают теории компенсации. Поскольку величина иллюзии «сжатия круга» значительна, апелляция к порогу взаимодействия сигналов (Stoper, 1967) не может быть принята. Вместе с тем приведенные данные подчеркивают значимость экстраретинальной информации в организации зрительного восприятия движения. Наиболее вероятно, что в данной ситуации зрительная система имеет довольно точную информацию лишь о скорости движений глаз. Необходимо подчеркнуть, что сетчатка все же дает точную информацию о перемещении стимула, но лишь в том случае, когда прослеживающие движения разрушаются и заменяются скачками (на частоте 2.47 Гц и 5.20 Гц). Создается впечатление, что в условиях описанного эксперимента механизм восприятия движения функционирует по принципу дизъюнктивного выбора, а не компенсации, поступающей из разных источников.

Таким образом, исследования восприятия пути и скорости движения объекта во время плавных прослеживающих движений глаз показывают, что (а) информация о скорости движений глаза может быть очень неточной, степень неточности варьирует в зависимости от условий восприятия; (б) информация о скорости перемещения проекции объекта по сетчатке не компенсируется информацией о скорости перемещения глаза. Ретинальный и экстраретинальный сигналы могут находиться в отношениях как интеграции, так и дизъюнктивного выбора.

Восприятие формы и направления движения объекта

Эксперименты, связанные с восприятием формы движения объекта в безориентирном пространстве, впервые были проведены Е. Фужии (Fujii, 1943). Предъявляя испытуемым светящуюся точку, движущуюся в течение одного цикла по квадрату или треугольнику, и требуя ее точного прослеживания, он обнаружил неожиданные искажения воспринимаемого пути перемещения точки. Эти искажения носили периодический характер и были связаны с изменением направления движения точки. Так, при движении точки по

квадрату со скоростью 6°/сек стороны квадрата (за исключением стороны, которую светящаяся точка проходит первой) воспринимались вогнутыми по отношению к центру фигуры.

Однако И. Рок и П. Хэлпер (Rock, Halper, 1970), изучавшие восприятие формы движения точки в близких условиях, не обнаружили перцептивных искажений. В их экспериментах испытуемые в одном случае прослеживали движение светящегося объекта в темноте, а в другом случае — воспринимали движение объекта, зафиксировав положение глаза. Оказалось, что в обоих случаях 9 из 12 испытуемых верно идентифицировали предъявленную фигуру со сходными альтернативными фигурами.

Эти результаты не подтвердились более поздними исследованиями, в которых также использовались процедуры идентификации воспринимаемых фигур (Поддьяков, Наканов, Дремина, 1971; Андреева, Вергилес, Ломов, 1972; Наканов, 1973). В последних работах подчеркивается выраженная тенденция иллюзорного восприятия пути прослеживаемого объекта в безориентирном пространстве.

Несмотря на то, что эффекты восприятия формы движения объекта возникают только при его прослеживании, инерционность глазодвигательной системы не позволяет делать однозначные выводы о свойствах источника экстраретинальной информации. Поскольку в момент изменения направления движения объекта глаз не способен мгновенно изменить направление движения, это приводит к смещению проекции объекта на сетчатке. Поэтому восприятие формы движения объекта может в равной степени определяться и особенностями экстраретинальной информации, и особенностями смещения изображения объектов по сетчатке. Это подтверждается данными Л. Фестингера и А. Истена (Festinger, Easton, 1974), которые показали, что иллюзия Фужии наблюдается только при движении объекта с постоянной скоростью. Если скорость движения объекта меняется синусоидально, с замедлениями на местах изменения направления движения, искажения не наблюдаются. Следовательно, иллюзия Фужии выражает соотношение ретинальной и экстраретинальной информации в зрительной системе и является удобной моделью проверки компенсаторной теории.

Наиболее детально искажения формы воспринимаемого движения при прослеживании объекта были исследованы Л. Фестингером и А. Истоном (Festinger, Easton, 1974). Их предварительные эксперименты, проведенные на большом количестве испытуемых (более 50 человек) показали регулярность возникновения иллюзии Фужии

при соблюдении соответствующих условий. Более того, они обнаружили, что при периодическом движении светящейся точки по квадрату особенности воспринимаемой формы зависят от частоты движения объекта. Если частота превышала 1.6–1.7 Гц, иллюзия исчезала. При частоте ниже 0.3–0.4 Гц прямые углы квадрата воспринимались составленными из отрезка прямой и экспоненты, переходящей в прямую. При частоте выше 0.5–0.6 Гц стороны квадрата воспринимались вогнутыми к центру фигуры. Зарегистрировав движения глаз во время прослеживания светящейся точки и вычислив траекторию смещения проекции стимула на сетчатке, Л. Фестингер и А. Истон нашли, что в большинстве случаев форма пути стимула на сетчатке совпадает в общих чертах с воспринимаемой траекторией, хотя пространственно она сильно сжата, а ее ориентация широко варьирует. Это означает, что изображение пути стимула на сетчатке можно рассматривать как основу иллюзии Фужии. С данной позиции допустимы следующие выводы о содержании и характере экстраретинальной информации. Во-первых, экстраретинальный сигнал содержит неадекватную информацию о скорости перемещения глаза. Этот вывод основывается на том, что воспринимаемая форма пути значительно превышает угловые размеры формы пути смещения стимула по сетчатке, хотя и меньше объективной формы пути. Во-вторых, экстраретинальный сигнал содержит адекватную информацию о направлении движения глаза. В противном случае ориентация воспринимаемой формы пути основывалась бы только на ретинальной информации и широко варьировалась бы. Этого в экспериментах Фестингера и Истона не наблюдалось.

С вопросом адекватности информации о направлении движений глаз связано исследование иллюзии «отскакивания» (Mack, Fendrich, Sirigatti, 1973). Эта иллюзия состоит в том, что прослеживаемый объект в безориентирном (или малоориентирном) пространстве при внезапной остановке воспринимается отскакивающим в направлении, обратном направлению первоначального движения. Исследование показало, что иллюзия возникает тогда, когда глаз по инерции проходит остановившийся объект. По мнению А. Мэк и ее коллег, наблюдаемый феномен можно рассматривать как аргумент в пользу эфферентной концепции, поскольку восприятие движения выступает здесь как функция компенсаторных отношений между эфферентной информацией о движении глаз и информацией о смещении проекции объекта на сетчатке, т.е. движение объекта воспринимается только тогда, когда стимул смещается по сетчатке в отсутствие информации о движении

глаза. Хотя эфферентная информация о движении глаза не может мгновенно с остановкой объекта изменить свое содержание, в целом иллюзия «отскакивания» указывает на адекватность экстраретинальной информации о направлении движения.

Л. Фестингер и его коллеги (Festinger, Sedgwick, Holtzman, 1976) сделали попытку более точно определить влияние плавных движений глаз на оценку направления движущихся объектов. Во время эксперимента испытуемых просили прослеживать колеблющуюся по горизонтали светящуюся точку и, изменяя наклон линейной траектории движения другой светящейся точки, перемещающейся под углом к прослеживаемой траектории, устанавливать их воспринимаемую параллельность. Регистрировалась позиция глаза в каждый момент времени и вычислялся путь светящихся точек на сетчатке. Установлено, что воспринимаемое направление движения непрослеживаемой точки в значительной степени соответствует ретинальному, а не физическому пути движения стимула. Это значит, что зрительная система не учитывает большую часть информации о направлении движения глаза. Вместе с тем, поскольку испытуемые всегда воспринимали прослеживаемую точку движущейся горизонтально, адекватная информация о направлении движения глаза поступала в зрительную систему. Следовательно, перемещение проекции объекта по сетчатке не зависело от информации о направлении движения глаз, поступающей в зрительную систему. Очевидно, в данном случае интерпретация отношений ретинальной и экстраретинальной информации в терминах компенсации невозможна. Информация о направлении движений глаз и перемещении проекции объекта по сетчатке скорее сосуществует, чем взаимоуничтожается.

Имеющиеся в литературе данные (Наканов, 1973; Барабанщиков, 1977) указывают, что экстраретинальная информация о направлении движения глаза также может быть неадекватной. М.Г. Наканов (1973) отмечает, что при многократном перемещении светящейся точки по кругу, квадрату или треугольнику воспринимаемая форма движения объекта не только меняет свою ориентацию, но и непрерывно смещает свой центр. В этом исследовании скорость движения объекта варьировалась от 2 до 33°/сек. Однако искажения воспринимаемого направления движения светящегося объекта наблюдаются и в том случае, когда скорость объекта мала (1°/сек), а смещение проекции стимула по сетчатке, связанное, в частности, с инерционностью глазодвигательной системы, не превышает смещений, имеющих место при фиксации неподвижного объекта (Барабанщиков, 1977).

Таким образом, исследования восприятия формы и направления движения объекта во время плавных прослеживающих движений глаз показывают, что (а) информация о направлении движений глаз, поступающая в зрительную систему, может быть как точной, так и неточной; (б) информация о направлении перемещения проекции объекта по сетчатке, вызванного инерционным «проскакиванием» глаза относительно объекта или независимым движением дополнительного объекта, не компенсируется информацией о направлении перемещения глаза.

Иллюзия Филене и восприятие относительного движения объектов

Согласно теориям компенсации, экстраретинальная информация о плавном перемещении глаза должна сравниваться со всей информацией, поступающей с сетчатки. Следовательно, можно ожидать, что в реальных условиях восприятия при наличии не только движущегося объекта, но и хорошо структурированного фона перемещающимся будет восприниматься только прослеживаемый объект. Смещение изображения фона по сетчатке должно компенсироваться экстраретинальным сигналом о движении глаза, т.е. фон будет восприниматься неподвижным. Однако последнее предположение довольно часто не выдерживается: фон воспринимается перемещающимся в направлении, противоположном движению прослеживаемого стимула (Filehne, 1927). В. Филене, впервые указавший на эту иллюзию, рассматривал ее лишь как возможное объяснение парадоксаАуберта-Фляйшля и не связывал ее с проблемой перцептивной стабильности. Вместе с тем данная иллюзия разбивает кажущееся монолитным единство классических феноменов перцептивной стабильности и «движения» и требует для их объяснения, по крайней мере, двух различных механизмов. Действительно, с одной стороны, во время скачка изображение объектов хотя и смещается по сетчатке, впечатление движения не возникает; с другой стороны, при прослеживании объекта неподвижный фон воспринимается движущимся.

Придерживаясь теории компенсации, Р. Грегори (Gregory, 1958) предложил объяснить этот парадокс различием в характере смещения сетчаточного изображения во время плавных и саккадических движений глаз. Во время саккад проекция объектов скачком перемещается по сетчатке из одной позиции в другую; во время плавных прослеживающих движений проекция фоновых объектов медленно «тянется»

по сетчатке, последовательно проходя непрерывный континуум позиций. Согласно Грегори, особая физическая природа сигнала о движении, порожденного плавным перемещением изображения объекта по сетчатке, является причиной возникновения иллюзии Филене.

Это предположение было опровергнуто изящным исследованием Стоупера (Stoper, 1967, 1973). Во время прослеживания светящейся точки малых размеров в поле зрения испытуемого последовательно вспыхивала одна и та же узкая вертикальная полоска. Благодаря перемещению глаза проекция светящейся полоски локализовалась в различных областях сетчатки, т.е. стимул скачком перемещается по сетчатке из одной позиции в другую. Несмотря на саккадической способ перемещения стимула, в подавляющем большинстве случаев испытуемые сообщали о воспринимаемом движении светящейся полоски из одного положения в другое в направлении, противоположном направлению движения глаза. Этот результат показывает, что экстраретинальный сигнал, несущий информацию о прослеживающих движениях глаз, не способен компенсировать стробоскопическое движение, возникающее при резком смещении проекции фона по сетчатке. Следовательно, сигналы, поступающие в зрительную систему с сетчатки и центров регуляции плавных движений глаз, не находятся в отношениях компенсации.

Согласно грубым измерениям воспринимаемая скорость перемещения фона равняется воспринимаемой скорости движения прослеживаемого объекта (Filehne, 1922). Это означает, что компенсация смещения фоновых стимулов по сетчатке практически отсутствует. Более того, иллюзия Филене носит парадоксальный характер: фон воспринимается движущимся, но не имеющим своей позиции (о движении фона сообщает лишь половина испытуемых, впервые принимающих участие в эксперименте) (Stoper 1967; 1973). Выполненные наблюдения позволяют допустить, что какая-то компенсация смещения фоновых стимулов по сетчатке все же имеет место.

Измерению степени этой компенсации, выступающей как «позиционная константность» фона, была посвящена специальная работа А. Мэк и Э. Германа (Mack, Herman, 1973). Использованная в их экспериментах установка позволяла менять скорость и направление движения фона, обеспечивая компенсацию его воспринимаемого перемещения и оценку позиционной константности. Тестирование относительно большого количества испытуемых (36 человек) показало, что иллюзия Филене возникла у 16 испытуемых, и лишь 28% всех ответов содержали указание на воспринимаемое движение неподвижного фона.

Обнаружено также, что независимо от того, двигался ли объект со скоростью 3°/сек или 10.5°/сек, воспринимаемая скорость движения фона была относительно постоянной и оценивалась в диапазоне 0.38–2°/сек. Полученные результаты, как и результаты более ранних экспериментов (Mack, Herman, 1972), дали основание полагать существование постоянной недооценки зрительной системой скорости перемещения глаза. В этом случае иллюзия Филене возникает как результат неполной компенсации смещения изображения объектов по сетчатке. Дополнительный эксперимент показал справедливость выдвинуто предположения: даже при отсутствии фона скорость перемещения светящейся точки в темноте недооценивалась в среднем на 1.14°/сек.

В целом исследования А. Мэк и Э. Германа подтверждают положения теории компенсации для плавных движений глаз, хотя и вводят новое допущение. Однако проблемы, связанные с иллюзией Филене и с восприятием относительного движения как такового, явно выходят за рамки анализа источников информации о движении. Не случайно Стоупер (Stoper, 1967) при обсуждении парадоксальности восприятия иллюзии Филене использовал терминологию Дж. Гибсона (Gibson, 1950), указывая, что «зрительный мир» остается стабильным во время прослеживающих движений глаз, в то время как «зрительное поле» непрерывно смещается. В силу своих исходных установок теория компенсации должна рассматривать отношение экстраретинальной и ретинальной информации не к «зрительному миру», а только к «зрительному полю». Сделать же разделение «зрительного поля» и «зрительного мира» в условиях хорошо структурированного фона, который занимает значительную часть поля зрения, довольно сложно. Вероятно, естественная установка испытуемых на восприятие «зрительного мира» явилась одной из существенных причин, определивших доминирование позиционной константности фона в экспериментах А. Мэк и Э. Германа.

Независимость источников информации о движении объектов ярко иллюстрируется классическими исследованиями восприятия «конфигураций движений» (Dunker, 1929; Johansson, 1950). К. Дункер показал, что при перемещении лампочки, укрепленной на краю равномерно катящегося диска, восприятие траектории ее движения соответствует действительной, т.е. лампочка движется по циклоиде. Однако, если в этих же экспериментальных условиях зажечь дополнительную лампочку в центре катящегося диска, воспринимается поступательное движение центральной лампочки, вокруг которой вращается лампочка, укрепленная на краю диска. Если принцип

компенсации верен, то при прослеживании центральной лампочки, движение боковой лампочки, направленное против движения глаз, или исчезало бы вовсе, или редуцировалось. Однако в экспериментах этого никогда не наблюдалось. Можно полагать, что в данном случае информация о перемещении центральной лампочки обеспечивалась экстраретинальным сигналом о поступательном движении глаза, а перемещение боковой лампочки — независимым сигналом с сетчатки, на которой проекция объекта описывала окружность.

Сделанное предположение подтверждается экспериментами Г. Юханссона (Johansson, 1950). Он выявил, в частности, что при прослеживании светящейся точки, колеблющейся по горизонтали, другая светящаяся точка, колеблющаяся по вертикали, воспринимается движущейся по кругу. Сходные эффекты наблюдали и испытуемые Наканова (1973), когда во время прослеживания светящейся точки, движущейся по замкнутой траектории, включалась дополнительная неподвижная светящаяся точка. Следовательно, и в этих случаях смещение проекции объекта по сетчатке является независимым источником информации о движении объекта. Можно ожидать, что интеграция (а не компенсация) информации, поступающей в зрительную систему из различных источников во время прослеживания объекта, является одним из важных условий возникновения феноменов «диссоциации движения» (Johansson, 1950), а также различных искажений при восприятии динамических структур (Sumi, 1964; Gogel, 1974).

Таким образом, исследования иллюзии Филене и восприятия относительного движения объектов во время плавных движений глаз подтверждают, что в общем случае комплексная информация о движении объектов по сетчатке не компенсируется информацией о движении глаз. Можно предполагать, что различные источники информации скорее дополняют друг друга, внося свой особый вклад в построение зрительного образа.

1.5. Некоторые итоги

Основным положением проблемы стабильности видимого мира является утверждение, что, несмотря на постоянно возникающие движения глаз, мир вокруг нас кажется стабильным. Чаще всего для объяснения этого феномена предлагается некий централь-

ный механизм компенсации или «принятия в учет», который сопоставляет ретинальную информацию с глазодвигательной.

Первым исследователем, четко разграничившим два возможных способа компенсации перемещения изображения объектов по сетчатке для обеспечения стабильности, был А. Стоупер (Stoper, 1967). Он дифференцировал предложенные концепции на *теории компенсации движения и теории компенсации положения*. Движение изображения по сетчатке должно «погасить», или аннулировать информацию об изменении изображения на сетчатке, порождаемую необходимостью целенаправленного движения глаза. Если компенсация неточная, то воспринимается движение, т.е. стабильность видимого мира нарушается. Теория компенсации положения предсказывает восприятие движения видимого мира только в том случае, если перемещение изображения по сетчатке вызывает воспринимаемую разницу в эгоцентрической локализации объекта в течение двух следующих одна за другой фиксаций. Согласно А. Стоуперу, компенсация движения проще, поскольку она предполагает только механизм детекции *изменений* на сетчатке, в то время как компенсация положения требует измерения угла поворота глаз. Последнее предполагает высокую точность, что не является решающим при компенсации движения. А. Стоупер считает, что теория компенсации движения лучше согласуется с имеющимися данными.

Можно задать вопрос, почему необходима такая компенсация? Почему два идентичных паттерна возбуждения на сетчатке в течение двух следующих одна за другой фиксаций должны вызывать восприятие смещения окружающих предметов из-за изменения участков сетчатки, на которые проецируются изображения объектов окружающего мира? Основной невысказанной предпосылкой всех разновидностей теории «принятия в учет» является отрицание возможности возникновения идентичного зрительного образа в два момента времени, если единственным измененным условием является проекция изображений одних и тех же объектов на разные участки сетчатки. Эта предпосылка была само собой разумеющейся в то время, когда зрительный образ понимали как прямую проекцию изображений с сетчатки в зрительную кору. Данные современной нейрофизиологии показывают, что разные признаки изображения анализируются различными механизмами и что возникновение целостного зрительного образа представляет собой интегральный результат работы множества функциональных систем мозга. Есть все основания полагать, что нейронным механизмам, на основе работы которых

создается субъективный образ, безразлично, на какой участок сетчатки проецируется данный объект. Следовательно, главная предпосылка теории «принятие в учет» неверна. Объекты, изображения которых проецируются на различные участки сетчатки в разные моменты времени, могут быть восприняты и воспринимаются как неизменяющиеся. Индивидуальный опыт каждого живого существа, миллионы раз проверенный на практике, постоянно доказывает объективную стабильность внешнего мира. Эта относительно простая истина и подчеркивается в концепции Д. Маккея. Стабильность мира выступает здесь исходной предпосылкой, а не результатом компенсации или «принятия в учет» движений глаз. Близкая идея реализуется и в экономическом подходе Дж. Гибсона (1988).

Из личного опыта мы знаем, что с изменением точки фиксации что-то меняется и в образе. При переводе глаз с одной точки фиксации на другую в слабо освещенном помещении иногда можно уловить смещение в поле зрения, но, в первую очередь, мы осознаем смену направления взгляда. Это больше связано с высокой разрешающей способностью фовеальной области сетчатки, которая направляется в сторону определенного объекта, чем с измерением угла поворота в системе глаз/голова, эфферентной копией или с проприоцептивной информацией от глазных мышц. Выполняя поиск объекта или определяя его место в поле зрения, нет необходимости измерять угловое расстояние между объектами с помощью системы глаз/голова. Система изображение/сетчатка работает эффективнее. Можно сказать, что в данном случае сетчатка, как и другие уровни зрительной системы, имеют свои «локальные знаки», позволяющие оценить направление и угловое расстояние от фовеа до изображения следующей точки фиксации для передачи команды о движении. Не случайно в верхних буграх четверохолмия имеется ретинотопическая проекция в поверхностных слоях и соответствующая ей моторная проекция в слоях более глубоких. Поэтому одна и та же саккада может быть вызвана как зрительным стимулом, локализованном в определенном участке поля зрения, так и электрическим раздражением проекции этого участка в верхних буграх четверохолмия (Schiller, Koerner, 1971; Robinson, 1972; Schiller, Stryker, 1972). Необходимо подчеркнуть, что ретинальные «локальные знаки» в этом случае не должны быть слишком точны и предназначены для перемещения взора на новую цель. Большая часть подобных перемещений происходит с помощью дополнительных корректировочных движений. При этом испытуемый всегда в состоянии указать на предыдущую точку фиксации. Следовательно, разумнее

полагать, что человек после каждого саккадического движения глаз воспринимает измененное направление своего взора относительно объектов внешнего мира, нежели смешенное положение изображений объектов на сетчатке.

Последующее изложение материала будет касаться механизмов и детерминант восприятия стабильности окружающего человека мира, с разных сторон исследованных авторами книги. Но прежде, чем это сделать, необходимо рассмотреть природу окуломоторной активности и некоторые пути ее изучения. Очевидно, что за многомерностью феномена константности зрительного направления скрывается многозначность возможных способов включения движений глаз в процесс зрительного восприятия. Так или иначе в нем могут участвовать все узловые механизмы функциональной организации окуломоторного акта: афферентный синтез, принятие решения, программа выполнение движений, акцептор результатов, зрительная, вестибулярная и проприоцептивная обратная афферентация (Барабанщиков, 1997).

Глава 2. ОКУЛОМОТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ

2.1. Моторные компоненты зрительного восприятия

В повседневной жизни каждый человек, обладающий зрением, постоянно осматривает окружающее, выделяя для себя ту или иную полезную информацию. Мы всегда что-то ищем и замечаем в мире: цвет светофора, мелькнувшее в толпе знакомое лицо, вульгарно-оригинальный текст рекламы или контуры строящегося здания. Дважды в секунду предмет зрительного восприятия меняется, и каждый раз это сопровождается изменением направленности глаз, их перемещением из одной позиции в другую. Какова природа подобных движений? Зачем они нужны? Как организованы? От чего зависят? Как включаются в процесс ориентировки человека в мире?

Природа движений/направленности глаз обсуждается на протяжении нескольких столетий. В разные годы в дискуссию включались крупнейшие естествоиспытатели, такие, как И. Кеплер и И. Ньютон, Г. Г. Гельмгольц и И.М. Сеченов. Связь движений глаз с восприятием произведений искусства отмечали Леонардо да Винчи, А. Дюрер, О. Роден. Конструктивный характер окуломоторики подчеркивался в гносеологических концепциях Дж. Беркли, Т. Гоббса, Р. Декарта, Э. Кондильяка, Ж. Ламетри, Дж. Локка, Н. Мальбранша и других философов. Свое отношение к природе и функциям движений глаз выразили ведущие психологические течения: физиологическая психология (Вундт, 1880), структурализм (Титченер, 1914), гештальтпсихология (Koffka, 1935), бихевиоризм (Skinner, 1974), генетическая психология (Piaget, 1969), когнитивная психология (Nisser, 1967), сторонники экологического (Гибсон, 1988), деятельностного (Леонтьев, 1972) и других подходов.

Движение глаз и активность человека

Внимание исследователей к движениям глаз обусловлено их местом в структуре взаимоотношений индивида со средой, человека с миром. Воплощая единство важнейших сфер жизни — ориентировки и движения, окуломоторная активность оказывается на пересечении процессов познания и деятельности, природа которых всегда вызывает повышенный интерес.

Взятая сама по себе окуломоторика выступает как яркий феномен биодинамики, отличающийся многообразием видов и переходных форм. Быстрые резкие перемещения (саккады) сменяются медленными и плавными (дрейфом), почти точное прослеживание движущегося объекта сочетается с собственными колебаниями глаз (тремором); наряду с латеральными отклонениями (право — лево, верх — низ), выполняются вращательные движения относительно оптической оси (торзии), а при бинокулярном восприятии—сведение или разведение самих осей (вергенция); диапазон амплитудно-частотных характеристик окуломоторной активности занимает несколько порядков. Способы построения подобных движений и их синтезы образуют содержание проблем, далеко выходящих за рамки биомеханики.

Оставаясь уникальным проявлением «живого движения» (Н.А. Бернштейн), окуломоторика подчинена общим законам организации двигательной активности. С этой точки зрения, движения глаз можно рассматривать как элементарную модель поведенческих актов, реализующую структуру и ключевые механизмы взаимодействия организма со средой.

Наконец, взаимосвязь окуломоторики с различными отделами и системами мозга открывает перспективу исследования разнообразных процессов ЦНС, которые обеспечивают ориентировку организма в среде и организацию его поведения. В отличие от других объектов биологического регулирования направленность/движение глаз имеет неоспоримые преимущества: небольшое число степеней свободы, доступность прямому наблюдению и возможность непрерывной регистрации.

Наиболее тесно окуломоторная активность включена в процесс зрительного восприятия. Являясь условием адекватного отражения действительности, направленность/движения глаз объективируют этот процесс: вводят в него соразмерность пространственно-временным отношениям среды, связывают его с другими про-

цессами, протекающими в организме, и делают его доступным стороннему наблюдению и регистрации. Возможность объективации является тем смысловым ядром, которое на протяжении веков порождает и поддерживает разнообразные гипотезы о роли движений глаз в чувственном познании мира. И хотя вопрос о функциях окуломоторики до сих пор остается открытым, его решение нередко рассматривается как ключ к природе зрительного восприятия в целом.

Через восприятие окуломоторика связывается с другими психическими процессами и затрагивает состояния человека. Так или иначе характер перемещения глаз выражает динамику внимания, мышления, воображения, представления, а их направленность —актуальные интенции личности: интерес, намерение, установку, отношение. Путем анализа движений глаз открывается возможность объективного исследования разнообразных психических явлений.

Психические процессы и состояния, в свою очередь, включены в более широкий контекст взаимоотношений человека с миром (деятельность, поведение, общение, игру) и сами строятся по логике этих взаимоотношений. Поэтому в формах окуломоторной активности находят отражение как динамика выполняемого действия, так и его структурные образующие. Это позволяет использовать знания о движениях глаз в интересах многих профессий.

Движения глаз как проблема и метод психологического исследования

Аккумулируя понятия, методы и экспериментальные данные ряда научных дисциплин (биомеханики, информатики, физиологии сенсорных систем, психологии зрительного восприятия и др.), проблема движений глаз принадлежит к числу комплексных. Она поставлена в нескольких планах: 1) феномены окуломоторной активности (виды, формы и параметры движений глаз), 2) их детерминация (условия, факторы и предпосылки, определяющие характеристики движений глаз), 3) управление окуломоторной активностью (механизмы движений глаз), 4) развитие окуломоторной активности (фило-, онто-, актуал- и патогенез движений глаз), 5) способы включения окуломоторики в процессы зрительного восприятия, познания и деятельности человека, и некоторые другие. Каждый из планов фиксирует предметные области проблемы и опирается на

соответствующую систему познавательных средств. Раскрывая разные аспекты одного и того же целого, они тесно взаимосвязаны; с какого бы плана и в рамках какой бы дисциплины ни начиналось исследование, рано или поздно возникает необходимость преодоления рамок исходной парадигмы и выхода в другие планы анализа или смежные области знания.

Современное состояние проблемы характеризуется не только многообразием изучаемых явлений (их сторон, планов, измерений), но и неравномерностью их проработки. Большое внимание уделяется анализу движений глаз в процессах поиска, обнаружения, опознания и прослеживания значимого элемента среды, рассматривания сюжетных изображений, выполнения сложных зрительных и интеллектуальных задач. Наиболее частым предметом исследования оказываются макросаккады и дрейф (либо прослеживающие движения); плохо изучены тремор, вергентные и торзионные движения. В качестве контролируемых параметров обычно выступают относительная позиция глаза в орбите, последовательность (маршруты) и продолжительность зрительных фиксаций; амплитуда и частота саккад; векторная скорость и амплитуда дрейфа и плавных прослеживаний; частота, амплитуда и направление различных форм нистагма (физиологического, оптокинетического, инверсионного и др.), причем в каждом отдельном исследовании оценивается не более двух-трех параметров. Многомерное, или «объемное», описание окуломоторной активности, включающей все или большинство видов движений глаз, остается пока за пределами методических возможностей. Наконец, фрагментарен объект исследования, который составляют нормальные взрослые (от 18 до 50 лет), дети (от двухнедельного возраста), а также больные с нарушением окуломоторной активности различного анамнеза.

Практически ориентированные исследования концентрируются вокруг трех тем.

- Анализ и организация конкретных видов операторского труда, связанного с управлением сложными технологическими объектами (АСУ, транспортные средства и т.п.); методы окулографии позволяют осуществить контроль за обучением специалистов, дать критерии оценки систем отображения информации и эффективности операторской деятельности.
- Диагностика психических заболеваний, мозговых поражений, состояния зрительных функций и окуломоторного аппарата; методы окулографии дают возможность установить «окуломо-

торные» симптомы нарушений познавательных процессов и деятельности.

- Коррекция развития и формирования познавательных действий; методы окулографии обеспечивают мониторинг стратегий решения зрительных, мнемических и интеллектуальных задач. Хотя объем прикладных исследований движений глаз сравнительно мал, область их применения постепенно расширяется (за счет включения новых сторон практики), методы регистрации становятся все более точными и удобными (как для экспериментатора, так и для испытуемого), а связь прикладных исследований с фундаментальными (через взаимный обмен методическими приемами, данными, концептуальными представлениями) становится все более тесной.

Универсального метода окулографии не существует. Каждая из известных процедур регистрации движений глаз обладает ограниченными возможностями (точностью и диапазоном линейности измерений, трудоемкостью регистрации и анализа данных, удобством для испытуемого и влиянием на выполняемую им деятельность, сочетаемостью с другими методами исследования, надежностью получаемых данных и др.), имеет как достоинства, так и недостатки и обеспечивает решение вполне определенного класса исследовательских и/или практических задач. За каждой из них стоят конкретные предметные представления и констелляции проблем, которые становятся источником специальных методов исследования окуломоторной активности, зрительного восприятия и деятельности.

Судьба проблемы сложилась так, что длительное время она разрабатывалась поэлементно, на уровне отдельно взятых движений (саккад, плавных прослеживаний и т.п.). Каждое такое движение рассматривалось как ответ на простейший стимул (локализацию точечного элемента, его перемещение относительно наблюдателя и т.п.), связывалось с наличием самостоятельного исполнительного механизма и непосредственно соотносилось с процессами познания, прежде всего зрительного восприятия, и деятельности. Предполагалось, что знание закономерностей элементарных движений глаз достаточно для интерпретации сложных, или составных, форм окуломоторной активности.

На первых порах подобные представления вполне оправдывались, стимулируя быстрое накопление эмпирических знаний. За сравнительно короткий срок были описаны простейшие виды окуломотор-

ной активности и их детерминанты (Ярбус, 1965; Леушина, 1971; Alpern, 1972; Ditchburn, 1973), высказаны гипотезы о механизмах регуляции элементарных движений глаз (Шахнович, 1965; Robinson, 1964;1965;), исследовано становление окуломоторики в фило- и онтогенезе (Гатев, 1973; Walls, 1962), получены важные данные о характере движений глаз в процессах поиска, обнаружения, опознания и оценки параметров предметов (Леушина, 1966; Зинченко, 1967; Гиппенрейтер, 1978). Выявлен ряд новых окуломоторных феноменов зрительного восприятия (Festinger, Canon, 1965; Festinger, Easton, 1974), прослежены связи элементарных движений глаз с перемещениями головы, рук, локомоциями (Bizzi, 1974; Ebenholtz, Shebilske, 1975; Gauthier, Hofferer, 1976) и др.

Со временем темпы разработки проблемы замедлились, обнажив ограниченность используемых представлений там, где основным предметом исследования оказывается конкретный познавательный процесс либо деятельность человека. Принимаемые допущения выглядят здесь излишне упрощенными и порой неадекватными. Так, нередко малоамплитудный дрейф отождествляется с устойчивой фиксацией, обеспечивающей съем полезной зрительной информации, а саккада — с поворотом глаз, меняющим предмет восприятия. «Спроецировав» окулограмму на поверхность воспринимаемого объекта (например, приборную панель или текстовый материал), казалось бы, без труда можно определить, что выделяет наблюдатель (что его интересует), в течение какого времени и в какой последовательности. Однако, как показывает опыт, результат подобного анализа далеко не всегда соответствует действительности.

Фиксационный поворот глаз может состоять не из одной, а из нескольких саккад, число которых зависит от локализации предмета восприятия (Гуревич, 1971). Возможно появление экспресс-саккады, которая не связана с глубокими (предметно-смысловыми) слоями переработки зрительной информации (Fischer, 1987). Наряду с обслуживанием когнитивных функций, саккады способны корректировать направление глаз, достигнутое в результате предшествующей фиксации (Becker, Jurgens, 1979), возвращать его в позицию покоя (Bender, 1955), «дробить» непрерывный поток зрительных афферентаций на отдельные порции (Филин, 1975) и т.п. Наконец, как макро-, так и микродвижения глаз поддаются произвольному контролю и могут не только инициироваться, но и подавляться наблюдателем (Steinman, 1976). Не меньше проблем порождает и малоамплитудный дрейф. В силу многоканальности зрительного «входа», фиксационная

позиция глаз чаще всего оказывается многозначной, а ее отношение к потенциальным предметам восприятия требует дополнительных подтверждений.

Окуломоторные структуры

Альтернативный путь разработки проблемы связан с изучением целостных окуломоторных образований (структур), выражающих более высокий уровень организации движений глаз. Влияние этого уровня обнаруживается, например, в программировании паттернов сканирования (Zingale, Kowler, 1985), которые не сводятся к сумме отдельных дрейфов и саккад; каждое из выполняемых движений может быть понято лишь в рамках всего паттерна в целом. Не случайно, несмотря на большой разброс отдельных значений, суммарная длительность фиксаций, сопровождающих чтение слов, остается примерно одинаковой (O'Regan, 1986). Относительно элементарных движений глаз окуломоторные структуры восприятия имеют собственные закономерности организации (Stark, Ellis, 1981).

В рамках данного подхода окуломоторный акт выражает не просто ответ на проксимальный стимул. Это активность субъекта восприятия, которая направляется как прошлым и настоящим, так и будущим: определенными намерениями, целями, планами или программами. За ориентацией оптических осей глаз скрывается уникальная позиция наблюдателя, благодаря которой целенаправленный поворот оказывается столь же пристрастным, сколь пристрастно самое чувственное восприятие действительности. Через отношение к субъекту глазодвигательная активность становится предметом психологического исследования, а ее регистрация — методом изучения психических процессов, состояний и деятельности человека. По существу, такие функции движений глаз, как когнитивная, исполнительная, измерительная, контролирующая и др. (Запорожец, Венгер, Зинченко, Рузская, 1967; Зинченко, Вергилес, 1969), являются характеристиками субъекта восприятия (содержанием того, что он делает в данный отрезок времени), перенесенными на средства его взаимодействия с объектом; с точки зрения механизма выполнения окуломоторного акта, они, конечно, искусственны (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Гиппенрейтер, 1978).

Методический смысл отнесенности движений глаз к субъекту восприятия состоит в возможности расчленять поток окуломоторной активности на целостные, относительно самостоятельные единицы

и внутренне сопоставлять их с динамикой познавательных процессов, состояний человека, форм его деятельности и общения. Через отнесенность к субъекту раскрывается механизм произвольного контроля движений глаз и управления взором наблюдателя.

Окуломоторное целое (структура) обеспечивается интеграцией (прилаженностью друг к другу) эфферентных и афферентных процессов, развертывающихся в центральной нервной системе (ЦНС). Хотя двигательная цель или намерение реализуются в виде последовательности окуломоторных команд, решающая роль в построении окуломоторного акта принадлежит обратной афферентации (зрительной, проприоцептивной, вестибулярной), которая информирует заинтересованные инстанции ЦНС об эффективности выполняемых движений. За тем или иным окуломоторным феноменом всегда стоят особенности управления, или способ функционирования глазодвигательной системы (ГДС).

Информационное содержание афферентаций, задействованных в выполнении окуломоторных структур, весьма разнообразно. Оно включает совокупность пространственно-временных отношений наблюдателя со средой, текущее положение глаз в глазнице, наклоны головы, положение или перемещение наблюдателя и мн. др. Нетрудно допустить, что афферентные потоки, организующие окуломоторную активность и питающие зрительные впечатления, в значительной степени совпадают или, по крайней мере, тесно взаимосвязаны. Есть, например, основания полагать, что информация о пространственно-временных отношениях среды, заключенная в двигательных командах, входит и в содержание зрительного образа (Festinger, Canon, 1965; Coren, 1986). Влияние на зрительный процесс проприоцепции экстраокулярных мышц не раз демонстрировалось экспериментально (Shebilske, 1978; Steinbach, 1987). Тем не менее до сих пор и вопрос о роли движений глаз в зрительном восприятии (познавательных процессах вообще), и вопрос о перцептивной (когнитивной) регуляции самих движений остаются открытыми. В конечном счете они «упираются» в знание принципов зрительно-окуломоторной интеграции, которые пока сформулированы в самом общем виде.

Наконец, целенаправленная окуломоторная активность открывается исследователю как конфигурация (паттерн), образованная на основе элементарных генетически заданных движений — саккад и дрейфов. Типичными примерами могут служить оптокинетический нистагм (Курашвили, Бабияк, 1975), П-образные движения во время

фиксации точечного источника света (Карпов, Карпова, Зеленкин, 1982), синусоидальные колебания глаз у пациентов с локальными нарушениями центральной нервной системы (Dell' Osso, Flynn, Daroff, 1974), регулярные паттерны движений глаз, сопровождающие процессы чтения и рассматривания сложных изображений (Ярбус, 1965; Нотон, Старк, 1974). Несмотря на широкую вариативность двигательных элементов (изменения амплитуды, направления, латентного периода саккад, скорости, ускорения, амплитуды и направления дрейфа или прослеживающих движений), характер их отношений остается неизменным, а окуломоторное целое несводимо к сумме своих частей.

Включенность глазодвигательной активности в процесс ориентировки наблюдателя в среде, наличие зрительно-окуломоторной интеграции, которая складывается для выполнения конкретной перцептивной задачи, и соответствующая ей устойчивая конфигурация (паттерн) собственно движений глаз относится к числу наиболее характерных особенностей окуломоторных структур. Рассматривая фиксационный поворот глаз в качестве репрезентативной модели, попытаемся раскрыть закономерности функциональной организации и развития окуломоторных структур восприятия человека.

2.2. Функциональная организация и детерминация движений глаз

При обсуждении проблемы стабильности воспринимаемого мира (см. главу 1) фиксационный поворот глаз рассматривался преимущественно абстрактно — как двигательный автоматизм (окуломоторный навык), характеристики которого определяются пространственно-временными особенностями объекта восприятия (его локализацией, величиной и др.). В действительности же фиксационный поворот имеет собственную организацию и подчиняется влиянию как внешних, так и внутренних детерминант. Сюда включаются: прогнозирование конечного и/или промежуточного результата, способ управления движениями глаз, ведущий уровень, на котором они строятся, сопряженность окуломоторики с другими двигательными актами наблюдателя и т.п. Действие внешних причин

фиксационного поворота глаз всегда опосредствовано констелляцией его внутренних условий.

Архитектоника фиксационного поворота

Фиксационный поворот глаз представляет собой целостный поведенческий акт, реализующий познавательное (перцептивное) отношение индивида к среде. Его результатом становится новое относительно устойчивое направление глаз, которое обеспечивает оптимальные условия восприятия значимого элемента или отношения среды. Этому направлению соответствует локализация (или тенденция локализации) проекции объекта в центральной области сетчатки. Визуальная данность субъекту значимых свойств действительности оказывается здесь и побуждением, и полезным эффектом движения, и условием его завершения.

Как и любой поведенческий акт, фиксационный поворот глаз имеет сложную архитектонику (рисунок 2.1), которая неплохо описывается в понятиях теории функциональных систем (Анохин, 1978, 1980).

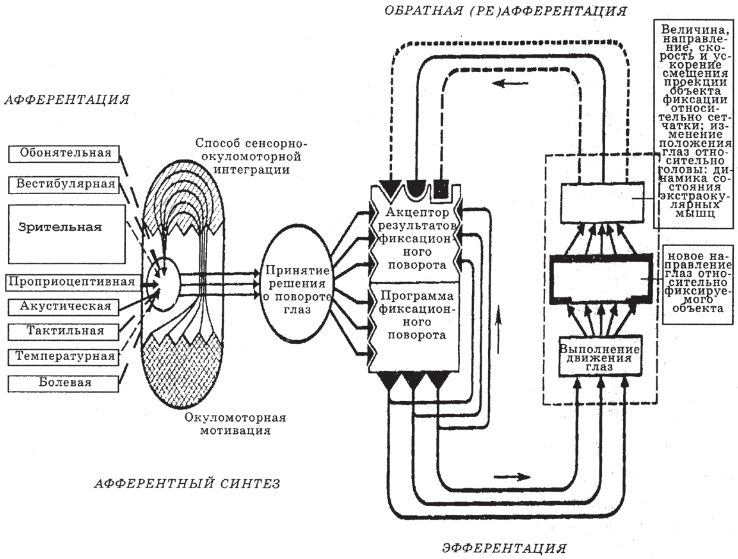


Рис. 2.1. Функциональная архитектоника фиксационного поворота глаз

Он начинается с афферентного синтеза — интеграции исходных предпосылок движения: мотивации (потребности в визуальном выделении некоторого элемента или отношения среды), опыта выполнения окуломоторных актов в прошлом и афферентации, информирующей об актуальном состоянии организма (позе, положении головы, актуальной направленности глаз, открытости-закрытости век, перемещении наблюдателя и т. д.) и среды (расположении значимых элементов ситуации, их конфигурации, величине, удаленности, направлении, скорости движения и др.).

На основе афферентного синтеза принимается решение о перемещении глаз в сторону определенного предмета (формируется цель окуломоторного акта). Оно реализуется посредством двух механизмов. Во-первых, программы фиксационного поворота глаз, которая включает основные диспозиции движения (Becker, Fuch, 1969; Levy-Schoen, Blanc-Garin, 1974; Frost, Poppel, 1976). Благодаря этому механизму складывается динамическая интеграция окуломоторных единиц и их сонастроенность на определенный способ активности; наблюдатель приводится в состояние готовности выполнить окуломоторный акт с заданными характеристиками: направлением, амплитудой или скоростью (Гуревич, 1971; Teylor, 1962; Festinger, 1971). Во-вторых, с помощью аппарата предвидения двигательного и/или перцептивного эффекта — акцептора результатов действия. Благодаря этому механизму формируется модель будущего результата движений (наряду с афферентными «кодами» ожидаемого направления глаза она включает дубликат окуломоторной программы — «эфферентную копию» — Holst, 1954; Holst, Mittelstaedt, 1973), с помощью которой оценивается обратная афферентация и корректируется неадекватная позиция глаз (Владимиров, Хомская, 1981; Howard, Templeton, 1966; Robinson, 1975).

Совокупность описанных процессов образует содержание латентного периода фиксационного поворота глаз, продолжительность которого зависит от характеристик визуальной информации, требований задачи, выбираемой стратегии, особенностей предшествующих движений глаз и других обстоятельств (Salthous, Ellis, 1980; Findlay, Crowford, 1983).

Исполнение, или собственно поворот, осуществляется посредством саккадических и плавных движений. Они объединеняются в один либо несколько перекрывающихся циклов «дрейф — саккада — дрейф», образующих окуломоторную структуру поворота. Выполняемые движения сопровождаются *обратной (ре-) афферентацией,*

которая сопоставляется с моделью результатов фиксационного поворота. Существует несколько источников обратной афферентации: а) позиция и смещение проекции воспринимаемого предмета по сетчатке; этот источник считается основным (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Stark, 1971; Jung, 1973); б) проприоцепция наружных мышц глаза (Becker, Fuchs, 1969; Skavenski, 1972; Weber, Daroff, 1972; Shebilske, 1976); в) раздражение вестибулярного аппарата, обеспечивающего координированность направлений глаз и головы (Курашвили, Бабияк, 1975; Bizzi, 1974; Barnes, 1975); г) проприоцепция скелетной мускулатуры, тактильная и акустическая сенсорные системы (Jones, Kabanoff, 1975; Buchele, Arnold, Brandt, 1977; Steinbach, 1987). Наличие обратной афферентации позволяет уточнять и корректировать программу и акцептор результатов действия в процессе выполнения фиксационного поворота глаз (Becker, Jurgens, 1979; Otts, Van Gisbergen, Eggermont, 1984). Последний совершается до тех пор, пока сохраняется значимое рассогласование модели результата поворота и реафферентации.

Вертикальная организация фиксационного поворота глаз может быть представлена в виде иерархии разнородных процессов трех уровней.

1) *Уровень интенции и произвольного контроля движений* выражает отнесенность окуломоторной активности к субъекту восприятия (наблюдателю). Здесь складываются намерение и «первичный проект» движений, «сформулированные» на языке зрительно данных предметных отношений действительности: куда смотреть, на что обратить внимание, что контролировать, в какой последовательности, как долго и т.п. «Первичный проект» непосредственно увязан со схемой ситуации и планом выполняемого наблюдателем действия и соотносится с системой координат внешнего пространства (среды). На этом уровне ставятся или принимаются зрительные (окуломоторные) задачи и осуществляется произвольный контроль их исполнения.

На (2) *уровне механизмов организации движений* «первичный проект» переводится в цепочки исполнительных команд и критерии адекватности их выполнения. События этого уровня описываются на языке информационных потоков или эфферентно-афферентных процессов ГДС, соотнесенных с ретинальной и окуломоторной системами координат. Здесь учитываются либо устанавливаются взаимосвязи окуломоторики с другими двигательными актами (поворотами головы, локомоциями и т. п.).

(3) *Уровень феноменов движений* характеризует способ и стиль выполнения поворота глаз. Здесь доминирует язык моторных единиц, сокращений и растяжений экстраокулярных мышц, развертывается действие активных и реактивных сил, влияющих на глазное яблоко и т.п. Выполняемые движения соотносимы как с внешней, так и с ретинальной (окуломоторной) системами координат.

Хотя содержание, функции и язык событий, происходящих на каждом из уровней, существенно отличаются друг от друга, они подчинены выполнению общей задачи и реализуются как одно целое.

Таким образом, с точки зрения внутреннего строения целенаправленный поворот глаз слабо напоминает окуломоторную реакцию на оптический стимул, или «фиксационный рефлекс». Это сложноорганизованное многомерное целое, которое складывается и функционирует в акте зрительного восприятия в качестве и его предпосылки, и его результата (продукта). Фиксационный поворот глаз включает моменты *прогнозирования* (цель, акцептор результатов действия, модель потребного будущего, эфферентная и афферентная копии и т.п.), *эфферентной готовности* (установка, эфферентный синтез и т. п.), *двигательных синергии* (содружественность движений обоих глаз и т. п.), *полисенсорности и многоуровневости* организации процессов управления. Соответственно любые детерминанты движений глаз оказываются опосредствованными состоянием функциональной системы фиксационного поворота в целом.

Детерминанты фиксационных поворотов глаз

Решение любой зрительной задачи (рассматривание изображения, поиск заданного элемента, ориентировка в новой обстановке и др.) предполагает фиксационный поворот глаз, включающий, по крайней мере, одну саккаду. В каждом конкретном случае направление, амплитуда и точность саккад оказываются различными, подчиняясь разнообразным, часто неожиданным обстоятельствам.

Существует несколько типов детерминант, определяющих параметры целенаправленных поворотов глаз.

Пространственные свойства предмета. Амплитуда саккады, в первую очередь, зависит от того, где относительно исходной точки фиксации расположен воспринимаемый предмет (целевой стимул). Если он удален на расстояние до 10°, распределение амплитуд имеет

выраженный центр, или эксцесс, соответствующий дистанции до предмета. При расстоянии большем 10° саккады имеют меньшую амплитуду, чем дистанция до предмета, а финальная позиция глаз корректируется дополнительной саккадой. С увеличением расстояния до целевого стимула амплитуда и/или число коррекционных саккад увеличивается (Weber, Daroff, 1971; Митрани, 1973; Bahill, Adler, Stark, 1975). Необходимо подчеркнуть, что распределение амплитуд произвольных саккад носит вероятностный характер и, как правило, захватывает зону в несколько угловых градусов перед и позади фиксируемого точечного элемента среды. При дистанции до предмета (40') в 6° лишь 60% саккад имеют амплитуду 6 ± 0.5°, при дистанции 15° количество «точных» саккад снижается до 20% (Гуревич, 1971; Митрани, 1973). Контролирующая роль позиции, или зрительного направления целевого стимула, учитывается практически всеми исследователями окуломоторной активности и заложена в процедуру калибровки и анализа движений глаз. За исключением прямых методов (кино- и телесъемка) все используемые способы регистрации дают относительную информацию о направлении глаз (а следовательно, и об амплитуде саккад), допуская, что зрительный угол, под которым видна калибровочная точка, и угол поворота глаз, необходимый для ее фиксации, совпадают.

На величину амплитуды саккад оказывают влияние и нецелевые стимулы, расположенные от целевого на расстоянии до ±5°. В этом случае позиция глаза после скачка локализуется между целевым и нецелевым стимулами, как бы в «центре тяжести» единой фигуры, а амплитуда саккад в зависимости от позиции нецелевого стимула может быть соответственно больше или меньше расстояния до цели (Coren, Hoenig, 1972; Findlay, 1980, 1981; Coren, 1986). Существенно, что воздействие нецелевого стимула на амплитуду фиксационных саккад асимметрично: зона влияния нецелевого стимула, расположенного ближе к исходной точке фиксации, в несколько раз превышает величину зоны, расположенной за целевым стимулом. Тем не менее в области ±2–4° зависимость «центра тяжести» от позиции целевого стимула близка к линейной (Coren, 1986). Субъективно фиксационный поворот выполняется испытуемым точно на цель, а систематическое отклонение глаза не замечается. Данный эффект, не зависящий от требований задачи и величины предмета, постепенно снижается лишь в ходе многочисленных повторений (Findlay, 1980). Он имеет место при восприятии случайного распределения множества точечных эле-

ментов (Шанэ, Паюс, Чесна, 1978) и контурных фигур (Kaufman, Richards, 1969; Richards, Kaufman, 1969).

Понятие фиксционного «центра тяжести» не имеет строгого значения. Это тенденция преимущественного направления глаз относительно воспринимаемого предмета. Например, при рассматривании контурных изображений (окружностей, квадратов, треугольников, углов, фигур Мюллера-Лайера, Боринга и др.) точки фиксации группируются в определенных зонах внутри очертания изображения; при этом они могут совпадать, а могут и не совпадать с ее геометрическим центром. Нередки случаи, когда зона спонтанных фиксаций располагается между геометрическим центром фигуры и ее контуром, в частности, между центром и линией окружности. Чем больше угловой размер изображения, тем больше может быть их несовпадение и тем больше разброс точек фиксации (Richards, Kaufman, 1969; Kaufman, Richarrds, 1968; Ярбус, 1965). Если учесть зависимость зон распределения точек фиксации от индивидуальных особенностей наблюдателя, то предсказать их расположение в каждом конкретном случае зрительного восприятия довольно трудно.

По мнению Дж. Финдлей (Findlay, 1980, 1981, 1983), эффект «центра тяжести» связан с особенностями переработки зрительной информации: локальному выделению целевого стимула предшествует его «глобальное» восприятие, слитое с непосредственным окружением. Перцептивная спецификация цели происходит на поздних стадиях зрительного процесса, сопровождаясь дополнительной, или коррекционной, саккадой. Это предположение соответствует и другим данным. Так, Х. Кофф (Koeffe, 1987) обнаружил, что визуальный анализ элементов среды, локализованных в области будущего местоположения глаз, начинается до выполнения саккады. В ходе анализа последовательно включаются каналы все более высоких пространственных частот и сужается зона внимания. Точность саккады зависит от того, на какой стадии зрительного процесса принимается решение о движении. Следовательно, ключ к повышению точности саккад лежит в организации таких условий восприятия, при которых зрительный анализ в течение предшествующей фиксации осуществляется максимально полно. Как показала З. Капоула (Kapoula, 1983), платой за точность саккады является увеличение продолжительности предшествующей фиксации. По-видимому, процесс подготовки и выполнения саккады постоянно открыт для текущей зрительной информации (Robinson, 1977). Появление нецелевого стимула во время выполнения саккады приво-

дит к изменению либо ее амплитуды, либо структуры фиксационного поворота в целом (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Otts, Van Gisbergen, Eggermont, 1984).

Более отдаленное окружение целевого стимула, или фон, также оказывает влияние на параметры саккад. Влияние фона проявляется, например, в асимметрии фиксационных саккад, выполняемых в условиях сочетания нулевой и положительной зрительной обратной связи ГДС (Барабанщиков, Зубко, 1980). Направление и амплитуда саккад в процессе поиска заданного элемента зависит от формы панели информации. При восприятии прямоугольной панели (40° х 40°) преобладают горизонтальные и вертикальные скачки, при восприятии круглой и эллиптической формы — наклонные и радиальные. Скачки, совпадающие с направлением большой оси фигуры (прямоугольника или эллипса), имеют большую амплитуду. От формы панели зависит и плотность распределения фиксаций (Митькин, 1974).

Существенным фактором саккадических поворотов глаз является конфигурация воспринимаемой поверхности. П. Лоше и Р. Ноди (Locher, Nodin, 1987), предъявляя испытуемым рисунки разной степени симметричности и комплексности, обнаружили, что при симметричных конфигурациях рисунка точки фиксации локализуются преимущественно в области одной его половины, а при фиксации несимметричных — распределяются равномерно. Можно полагать, что фактор симметрии-асимметрии поверхности предмета является ключевой образующей его зрительной композиции, которая выступает в качестве системы отсчета, направляющей движения глаз наблюдателя (Арнхейм, 1974, 1994).

Как правило, наибольшее скопление фиксаций соответствует таким областям среды, где существует либо наибольшая вероятность обнаружения целевого стимула, либо возможность получения прогностической информации (Macworth, Morandi, 1967; Prinz, 1983). При больших (свыше 10°) угловых размерах предмета восприятия точки фиксации распределяются на его «выдающихся» деталях: резких изменениях кривизны контура, контрастах, необычных цветовых или фигуративных элементах и др. На прямоугольном поле (13° х 20°), разделенном на темную и светлую части, зона фиксаций локализуется в непосредственной близости от границы смыкания частей и мало зависит от их соотношения (Kaufman, Richards, 1969).

Зрительный и фиксационный «центры тяжести». *В* отличие от фиксационного зрительный «центр тяжести» поверхности предмета характеризует результат взаимовлияния его частей и их отношения к целому. После работ гештальтпсихологов эта проблема обсуждается в терминах «психологических сил поля» (Koffka, 1935; Allport, 1955), проявление которых, например, внутри поверхности квадрата нетрудно обнаружить с помощью меньшей по размеру фигуры. В разных зонах квадрата она выглядит то спокойной, то — напряженной, то — деформированной, то — «нетерпеливой». Наиболее устойчивое состояние фигура приобретает в геометрическом центре квадрата, который и рассматривается в качестве его «центра тяжести». «Психологические силы» действуют не только по горизонтали или вертикали, но и по диагоналям, на пересечении которых создается сильный эффект равновесия. Другие, менее выраженные точки равновесия, находятся около вершин квадрата. Фигура, занимающая некоторое промежуточное положение, воспринимается как неустойчивая, стремящаяся к движению (Арнхейм, 1974). Согласно Р. Арнхейму, зрительно воспринимаемому изображению присущ скрытый структурный план, регулирующий взаимоотношение частей и целого. Любой предмет восприятия динамичен. Его контуры создают напряжение, укрыться от которого ни во внутреннем поле изображения, ни около его наружных границ практически невозможно. Введение фигуры, обладающей собственным весом, перераспределяет действие «сил» и формирует новый «центр тяжести»: он смещается в сторону фигуры и нередко совпадает с ее геометрическим центром. Несбалансированная композиция (картина, эстамп, скульптура и т.п.) переживается как незавершенная, непонятная, лишенная смысла, а ее элементы стремятся к изменению места и формы.

Восприятие комплексного, особенно неуравновешенного изображения оказывается не столь простым и однозначным. «Беспокойство» и стремление к движению может вызвать как фигура, эксцентрично расположенная внутри рамки, так и сама рамка, локализованная слева либо справа относительно центрального направления («прямо — вперед»). Остается неопределенным и соотношение фигура — фон. Обе эти функции могут выполнять и геометрическая фигура, и самая рамка. Поэтому фиксационный поворот глаз может совершаться как в направлении «центров тяжести» рамки или фигуры, так и в направлении симметричной им позиции.

«Центр тяжести» изображения тесно связан с асимметрией его правой и левой части. Например, согласно европейской традиции,

картина пишется и «прочитывается» слева — направо; если это отношение инвертируется, то изображение теряет не только внешний вид, но и смысловое содержание. Элемент картины в ее правой части выглядит тяжелее, чем в левой, но все, что располагается в левой части, имеет большее значение. То же самое наблюдается на театральной сцене: ее левая сторона оценивается как более сильная, а актер, стоящий слева, доминирует на сцене; вместе с тем появление актера справа непосредственно «бросается в глаза» и не остается незамеченным.

Правши предпочитают асимметричные изображения, элементы которых смещены вправо. В случае симметричных или почти симметричных изображений значимые элементы оцениваются как смещенные влево (Леви, 1995). Это означает, что смещение зрительного «центра тяжести» компенсируется соответствующим сдвигом внимания в противоположную сторону. Так как внимание тесно связано с фиксационным «центром тяжести», можно полагать, что оба центра уравновешивают друг друга. При прочих равных условиях баланс «центров тяжести» становится важным фактором восприятия гармонии.

Существенно, что перемещение взора само включено в порождение эстетического эффекта произведений искусства. Последовательный — снизу вверх осмотр статуи О. Родена «Маршал Ней» создает впечатление выхватывания сабли из ножен (Рубинштейн, 1946). На картине «Слепые» П. Брейгель изобразил стадии перехода состояния людей от беззаботности к переживанию падения, причем таким образом, что взор зрителя последовательно останавливается на всех фигурах этого процесса, согласуя их в пространстве и усиливая впечатление падения (Арнхейм, 1974).

Зрительная задача. Любой элемент среды обладает множеством свойств и в каждый момент времени оказывается информативно избыточным. Что и как будет зрительно выделено, зависит от стоящей перед наблюдателем задачи. Задача, или цель, данная в определенных условиях, «разводит» существенное (информативное) и несущественное (неинформативное) в объекте восприятия и предъявляет определенные требования к дифференциации выделяемых свойств и отношений. Направленность глаз обеспечивает условия восприятия информативных элементов, которые содержат полезные и нужные в данный момент сведения. Если стоит задача описать отношения персонажей, изображенных на картине, она может быть независимой

от контура, числа мелких деталей, перепадов яркости, цвета элементов, подчиняясь смысловому содержанию или композиции картины. Движения глаз здесь мало похожи на движения рук слепого, ощупывающего контур незнакомого предмета. Однако, если потребуется рассмотреть и/или изобразить скульптурный портрет лица человека, совокупное распределение фиксационных позиций окажется изоморфным его контуру (Ярбус, 1965).

Анализ окулограмм позволяет, следовательно, судить о том, к каким элементам, когда и как часто обращается наблюдатель. Так, наиболее выразительные элементы лица — глаза и губы человека — больше всего привлекают внимание наблюдателя и являются основными областями распределения точек фиксации.

В отличие от эффектов фона или «центра тяжести», влияние задачи на движение глаз связано не столько с процессами приема информации, сколько с формами ее организации. Именно в этом смысле говорят о «разумности» глаза (Пушкин, 1965; Тихомиров, 1969; Грегори, 1972), связывая паттерны фиксаций с опытом и знаниями наблюдателя. Как правило, при повторных восприятиях сложных объектов одним и тем же наблюдателем структуры окуломоторной активности в целом сохраняются (Ярбус, 1965; Нотон, Старк, 1974).

Сложность окулографического анализа перцептивного процесса во многом определяется многозначностью отношений между направленностью глаз и зрительным направлением предмета восприятия. Для того чтобы выполнить перцептивную задачу, например, найти в колонке цифр подходящее значение, достаточно лишь нескольких фиксаций. Во время каждой из них воспринимается констелляция элементов, различно локализованных в поле зрения. Данная способность наблюдателя получила название функционального (оперативного, полезного) поля зрения (Гиппенрейтер, 1978; Белопольский, 1978; Mackworth, 1975). В зависимости от характера задачи функциональное поле зрения меняет свою локализацию и величину. Если, например, требуется рассмотреть мелкую деталь изображения, оно сужается до нескольких угловых минут; если требуется лишь обнаружить некоторый элемент — расширяется и может в пределе равняться величине морфологического поля зрения. При этом выполнение зрительной задачи допускает определенную совокупность направлений глаз, или *оперативную зону фиксаций*, которая также имеет определенную величину (от нескольких угловых минут до десятков градусов) и локализацию (в пределах моторного поля глаз).

Например, для того чтобы обнаружить тест-объект, появляющийся на дальней периферии, изменение позиции глаз не требуется (этой задаче может соответствовать любое положение глаз); при опознании же тест-объекта, целенаправленный поворот глаз необходим (Гиппенрейтер, 1978; Edwards, Goolkasian, 1974). Обе зоны могут находиться в самых разных соотношениях (перекрываться, включать друг друга и т.п.), а точность произвольной саккады определяется не метрическим положением глаз относительно предмета восприятия, а его положением относительно оперативной зоны фиксации (Барабанщиков, 1990). Перемещение глаз из одной оперативной зоны фиксации в другую при амбивалентной стимуляции становится условием переключения альтернативных способов восприятия (Гиппенрейтер, Седакова, 1970).

Перцептивные навыки. Включаясь в процесс зрительного восприятия, фиксационный поворот глаз выступает как окуломоторный навык, обеспечивающий выполнение зрительной задачи с необходимой точностью и скоростью. Он вырабатывается индивидом с самого рождения и имеет предпосылки в фило- и социогенезе (Ананьев, 1960; Запорожец, Вагнер, Зинченко, Рузская, 1967; Митькин, 1988). Окуломоторный навык целесообразен, адекватен тем условиям, в которых был выработан, носит обобщенный характер, а следовательно, отвечает разным перцептивным потребностям и переносим в различные ситуации. На разных этапах онтогенеза, а также в случае патологии фиксационный поворот глаз на целевой стимул выполняется по-разному. У месячного младенца — посредством цепочки саккад примерно одинаковой амплитуды (Митькин, Козлова, Сергиенко, Ямщиков, 1978); у нормального взрослого — посредством одной-двух саккад, ведущих к «точной» установке глаз; у взрослых с измененными оптическими свойствами глаз — посредством совокупности саккад различной амплитуды и ускоренного дрейфа, постепенно приводящих к фиксации стимула (Барабанщиков, 1978; Белопольский, Вергилес, 1979). В силу пластичности окуломоторной системы возрастные либо функциональные отклонения от оптимальной амплитуды или траектории выполнения движений носят кратковременный характер.

Поскольку в каждый момент времени зрительная активность либо складывается заново, либо воспроизводится в новых условиях, она напоминает процесс научения. Данный процесс побуждается необходимостью экономичного способа получения зрительной информации и проходит два основных этапа: 1) поиск решения перцептивной

задачи и 2) оптимизация найденного решения. Вновь найденное решение нередко носит неустойчивый диффузный характер, сопровождается избыточной активностью и при изменении условий далеко не всегда ведет к требуемому результату. При повторных актах восприятия (упражнении) найденное решение обобщается, теряет избыточные звенья (свертывается) и выполняется наиболее экономичным путем. В процессе научения реконструируется и укрупняется информационное содержание (оперативные единицы) восприятия, оптимизируется стратегия и тактика его вычленения. Задача, решение которой первоначально требовало значительного объема движений, организованных в сложную структуру, после некоторой практики может быть решена посредством одной единственной саккады (Зинченко, 1964; Запорожец, Венгер, Зинченко, Рузская, 1967; Подольский, 1977). Оптимизация перцептивного приобретения субъекта достигается посредством видоизменения его ориентировочной основы и структуры исполнения; существенную роль в этом процессе играют механизмы обратной связи.

Влияние перцептивных навыков на выполнение отдельной целенаправленной саккады обычно связывается с двумя моментами: а) с наличием индивидуально-типических особенностей строения и функционирования зрительной системы человека и б) с существованием социокультурных норм решения зрительных задач, в частности, чтения и письма. Оба момента так или иначе проявляются в способе восприятия и фиксируются в тактиках окуломоторной активности (Senders, 1976). Примером первого может служить асимметрия латентных периодов горизонтальных саккад (Владимиров, Хомская, 1980). Примером второго — альтернативность направлений первых саккад у представителей европейской и арабской культур при выполнении таких задач, как «чтение» приборов на мнемосхеме, поиск цифр на экране дисплея, осмотр картин и др. (Ломов, 1966; Митькин, 1974).

Таким образом, фиксационный поворот глаз является функцией многих переменных, каждая из которых действует в определенном диапазоне и оказывает на параметры движений глаз неравнозначное влияние.

Динамика детерминант. *В* ранее проведенном исследовании (Барабанщиков, 1997; 2002) мы попытались проанализировать особенности детерминации фиксационного поворота глаз человека при восприятии поверхности комплексных предметов. Для этой цели

была разработана методика, позволяющая изучать зависимость амплитуды саккад (распределений точек фиксации) от конфигурации поверхности предмета, его локализации в поле зрения и социокультурных навыков наблюдателя. Варьируя задачу наблюдения (свободное восприятие, зрительное выделение фигуры, фиксация геометрического центра рамки), мы провели ряд экспериментов, результаты которых приводят к следующим выводам.

Адекватное восприятие комплексного предмета обеспечивается установкой (направлением) глаз в одну из позиций оперативной зоны фиксаций. Она имеет неоднородное строение и включает: 1) ядро, или «центр тяжести»,— наиболее часто фиксируемые области предмета, 2) область менее интенсивных фоновых фиксаций, ограниченную поверхностью предмета, и 3) область разряженных фиксаций вне поверхности предмета (периферию). «Центр тяжести» в общем случае не совпадает ни с геометрическим центром рамки, ни с геометрическим центром фигуры. Возможно существование нескольких «центров тяжести» одновременно. С изменением требований задачи восприятия, конфигурации и локализации предмета, а также других обстоятельств величина, структура и расположение оперативной зоны фиксации изменяются. При этом степень точности целевой установки глаз задается их положением относительно «центра тяжести».

Фиксационный «центр тяжести» поверхности предмета характеризуется тремя параметрами: локализацией (местоположение в той или иной области), интенсивностью (соотношение наивысшей и средней частоты фиксаций) и фронтом («центр тяжести» может занимать как узкую, так и широкую область поверхности предмета). Его профиль, или конкретное сочетание параметров, зависит от конфигурации поверхности, локализации предмета в поле зрения, содержания зрительной задачи и социокультурных навыков наблюдателя.

Профили распределения фиксаций в левой и правой частях поля зрения в общем случае асимметричны и носят альтернативный характер. Если слева центр тяжести» имеет узкий фронт и высокую интенсивность, то справа — широкий фронт и более слабую интенсивность, и наоборот. Исключение составляют «центры тяжести», возникающие при фиксации точки, локализованной на поверхности комплексного предмета.

Фигура, эксцентрично расположенная внутри контурной рамки, оказывает на «центр тяжести» двоякое действие: «выталкивает» его в свободное пространство рамки (эффект вытеснения) либо «притягивает» к себе (якорный эффект). Первое наиболее выражено

в левой части поля зрения, второе — в правой. Любое распределение точек фиксации относительно поверхности комплексного предмета выражает интегративный эффект противоположно направленных тенденций.

Ширина контурной рамки оказывает влияние преимущественно на фронт «центра тяжести», сужая либо расширяя его. Как правило, в левой и правой частях поля зрения ширина контурной рамки действует противоположным образом.

Влияние формы фигуры на распределение фиксаций очень локально, нерегулярно и выглядит случайным. Оно обнаруживается лишь при перцептивном выделении точечного стимула и связано не столько с самой формой, сколько с ее площадью (размером).

Хотя различия в распределениях фиксаций русскоязычных и арабоязычных испытуемых касаются преимущественно локализации воспринимаемого предмета в поле зрения (профили «центра тяжести» представителей разных культур обычно инвертированы относительно вертикальной оси), они обнаруживаются в особенностях влияния и других контролируемых переменных: выраженности контура, позиции фигуры, задачи, решаемой наблюдателем. Так, эффект вытеснения более выражен у русскоязычных наблюдателей, якорный эффект — у арабоязычных. Для первых характерны симметричные кластерные деревья фиксаций, для вторых — асимметричные. При выполнении задачи фиксации точечного стимула профили «центра тяжести» у русских более стабильны, чем у сирийцев. Частота попадания точек фиксации на поверхность предмета у представителей арабской культуры несколько выше и т.д. Совокупность этих влияний характеризует социокультурный стиль глазодвигательной активности наблюдателя.

Рассмотренные детерминанты по-разному влияют на амплитуду фиксационных саккад. Наиболее сильное регулярное действие оказывают позиция предмета восприятия в поле зрения (справа или слева), расположение фигуры относительно контурной рамки и социокультурный навык наблюдателя. Ширина контурной рамки и в особенности форма (площадь) фигуры оказывают на амплитуду саккад слабое, нерегулярное влияние. Действие каждой детерминанты имеет нелинейный характер и зависит от действия всех других. Однако при любых сочетаниях детерминант амплитуда саккад ограничивается поверхностью комплексного предмета. Иначе говоря, детерминация фиксационных поворотов глаз, включенных в восприятие сложно организованного элемента среды, по своей природе *системна*.

При перцептивном выделении фигуры точки фиксации могут локализоваться вне ее поверхности; достаточно попадания на поверхность комплексного предмета. Конкретная позиция глаз и в этом случае определяется наличной системой детерминант. Принимаемый наблюдателем способ восприятия играет роль катализатора, усиливающего действие конфигуративной и/или пространственной детерминанты и меняющего в этой связи соотношение других детерминант; их исходный состав и функциональные возможности остаются неизменными.

Требование фиксации точечного элемента, расположенного в геометрическом центре контурной рамки ведет к сужению оперативной зоны фиксаций, симметрии и стабильности профилей «центра тяжести», при этом глаз может быть направлен в сторону от цели (около двух угловых градусов). В данном случае «центр тяжести» менее подвержен влиянию конфигуративных и пространственных свойств поверхности предмета, а основной детерминантой выступает зрительное направление точечного стимула.

При любом способе восприятия каждый третий фиксационный поворот глаз на комплексный предмет состоит из двух и более саккад. Вероятность их появления в левой части поля зрения зависит от размера стимульного (целевого) объекта: чем меньше стимул, тем больше «двойных» и «тройных» поворотов (до 50%). В правой части поля зрения вероятность сложных поворотов глаз (при неизменности дистанции до предмета) практически не меняется.

Первая фиксационная саккада обеспечивает общее, или грубое, наведение глаз на целевой стимул, подчиняясь глобальным пространственным свойствам поверхности предмета и его локализации в поле зрения. Если новое положение глаз оказывается недостаточным для выполнения требований зрительной задачи, следует дополнительный скачок, который формируется с учетом локальных свойств (деталей) поверхности предмета. Способ выполнения саккады (первой и последующих) соответствует системе перцептивных навыков, выработанных наблюдателем в определенной социокультурной среде.

Таким образом, структурный план изображения (Р. Арнхейм), связанный с взаимовлиянием его частей и целого, переносится и на организацию окуломоторного поля наблюдлателя. Закономерные смещения фиксационного «центра тяжести» отражают закономерные преобразования зрительного «центра тяжести», которые зависят не только от пространственно-конфигуративных характеристик повер-

хности предмета, но и от зрительной задачи и социокультурной принадлежности наблюдателя. С изменением соотношения детерминант меняется сам строй зрительного образа, особенности его ядра и периферии. Поэтому, несмотря на неизменность внешней стороны тест-объектов, психологическое содержание их восприятия оказывается различным.

Общность принципов организации зрительного и окуломоторного полей не означает изоморфности и их отношений. В известных пределах они независимы друг от друга, допускают автономность собственных преобразований и развития.

Механизм стабилизации взора

Целенаправленный поворот глаз завершается фиксацией наблюдателем значимых элементов или отношений среды. Речь идет о краткосрочной (200–400 мс) стабилизации зрительной направленности (взора), которая проявляется в соответствующей (а) направленности внимания, (б) ориентации оптических осей глаз и (в) установке, или состоянии готовности наблюдателя. Опосредованные установкой зрительно-аттенциональный и окуломоторный компоненты взора оказываются относительно независимыми.

Зрительная фиксация иди стабилизация взора предполагает участие всех звеньев функциональной системы окуломоторного акта. На основании афферентного синтеза задаются предмет (область) фиксации и критерии ее адекватности, складываются соответствующие установка и программа окуломоторной активности наблюдателя, наконец, актуализируются собственно двигательные средства: дрейф и микросаккады, контролируемые обратными связями (зрительной, вестибулярной, проприоцептивной). По существу, фиксация предмета означает окуломоторное отслеживание его зрительного направления.

При описании механизма стабилизации взора исследователи нередко обращаются к ретинотопической модели следящей системы. Предполагается, что во время фиксации дрейф, отражающий нестабильность экстраокулярных мышц, уводит изображение неподвижного предмета от fovea centralis (оптическая ось глаза уходит в сторону от центра фиксируемого объекта, в то время как зрительное направление последнего остается неизменным); благодаря обратной связи позиционное рассогласование регистрируется зрительной системой и инициирует коррекционную микросаккаду, возвраща-

ющую линию взора в центр предмета восприятия (Глезер, 1959; Глезер, Леушина, 1975; Cornsweet, 1956; Nachmias, 1959; Bryce, 1967). Данная модель построена на допущении неуправляемости дрейфа (случайности его направления) и опирается на ряд экспериментально установленных фактов: 1) зависимость вероятности появления микросаккад от амплитуды смещения ретинального изображения; 2) наличие «зоны нечувствительности» сетчатки; 3) соответствие амплитуды микросаккад диаметру «зоны нечувствительности» и др. Накопленный массив экспериментальных данных показывает, однако, что предлагаемое описание — лишь первое приближение к действительности.

Фиксационный дрейф. Несмотря на то, что дрейф является выражением собственных «шумов» ГДС, а также «люфта» взаимодействующих систем (окуломоторной и вестибулярной, правой и левой образующих вергентной субсистемы и т. п.), он подвержен влиянию различных переменных, а значит, управляем.

Скорость дрейфа, или скольжения глаза, увеличивается с увеличением расстояния до зрительного стимула (до 6°), его яркости и относительного контраста (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975) (рисунок 2.2).

При ограничении поля зрения до 1° зрительные оценки, пересчет объектов, восприятие и опознание контурных изображений осуществляются посредством плавных движений, а не саккад (Зинченко,

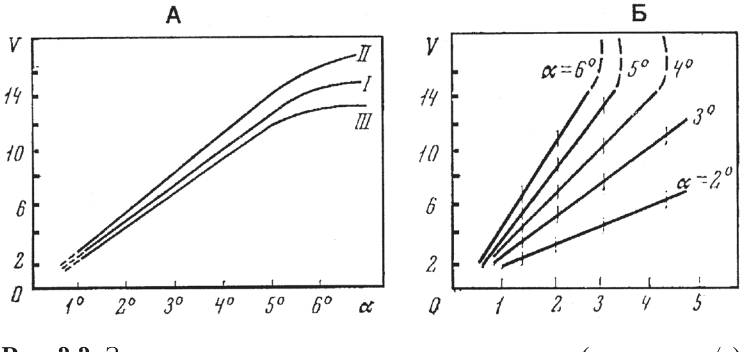


Рис. 2.2. Зависимость скорости «скольжения» глаза (в угл. град./с) от рассогласования направлений глаз и стимульного объекта (А) и относительной яркости стимула (Б) (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975)

Вергилес, 1969; Андреева, 1972; Андреева, Вергилес, Ломов, 1975). В условиях «ганцфельда» (равноосвещенного незаполненного пространства) и стабилизации ретинального образа относительно сетчатки скорость и амплитуда дрейфа возрастают примерно на порядок. Во время наблюдения последовательных образов ускоренный дрейф направлен в сторону объекта фиксации и чувствителен к его размеру (площади) и локализации в поле зрения. В определенных ситуациях скользящие движения глаз могут принимать вид периодических колебаний (Белопольский, 1989; Doesschate, 1954). Рост скорости и амплитуды дрейфа наблюдается и с уменьшением коэффициента зрительной обратной связи ГДС; чем дальше от объекта фиксации оптическая ось глаза, тем выше значения параметров дрейфа (нередко эта зависимость имеет вид экспоненты) (Белопольский, Вергилес, 1979; Вергилес, Андреева, 1990).

Предъявление точечного объекта на фоне медленно движущихся (десятки угл. сек./с) черно-белых полос допускает как сохранение фиксационной направленности глаза, так и его дрейф в сторону движения полос, но с гораздо меньшей скоростью. Возможность произвольного выбора той или иной стратегии окуломоторной активности сохраняется при сверхмедленной скорости смещения полос — пять угл. сек./с (Murphy, Kowler, Steinman, 1975). Если объект фиксируется на фоне быстро движущихся (десятки угл. град./с) черно-белых полос, дрейф получает соответствующую направленность, «растягивается» (возрастают его скорость и амплитуда) и становится плавным компонентом фиксационного оптокинетического нистагма — ФОКН (Гиппенрейтер, Романов, 1970; Stark, 1971). Гальванический нистагм, возникающий при фиксации объекта во время стимуляции вестибулярной системы электрическим током, напротив, «свертывается» (скорость его медленной фазы уменьшается в 10–15 раз), превращаясь в гальванический микронистагм — ГМН (Дормашев, Романов, 1983). Обе разновидности фиксационного нистагма зависят от физических характеристик объекта (яркости, размера и др.), степени сложности задачи и напряженности зрительного внимания. В частности, расширение площади настройки зрительного внимания на реальный или визуализированный предмет от 0.5 до 6°сопровождается значительным увеличением амплитуды нистагма и увеличением скорости его дрейфового компонента. Продолжительность отдельных дрейфов ФОКН и ГМН совпадают с выполнением и произвольным контролем микроэтапов текущего действия (Гиппенрейтер, 1978; Гиппенрейтер, Романов, 1990).

Требование зрительной фиксации неподвижного точечного объекта сопровождается увеличением, а требование сохранения взора в определенном положении — уменьшением частоты микросаккад (Steinman, Haddad, Skavenski, Wyman, 1973). Число микросаккад сокращается и во время активной интеллектуальной работы, в частности, при решении сложных арифметических задач (Филин, Сидоров, 1972), и с увеличением углового размера фиксируемого объекта (Steinman, 1976). В последнем случае амплитуда дрейфов также возрастает. Опытные испытуемые способны произвольно подавлять микросаккады, причем целевой стимул может располагаться в стороне от центральной точки фиксации (Филин, 1975; Steinman, 1976). В принципе дрейф оптических осей достаточен как для достижения точной фиксации миниатюрного элемента среды, так и для дестабилизации ретинального образа (Ярбус, 1965; Ditchburn, 1973). Стабильность параметров дрейфа при нарушении проводимости глазодвигательного нерва (офтальмоплегии) демонстрирует его более тесную связь с эфферентными влияниями, чем с изменением состояния экстраокулярных мышц (Филин, 1975).

Дрейф не только отклоняет оптические оси глаз от центра тяжести поверхности объекта, но и приближает к нему, реализуя коррекционные функции. В свою очередь, микросаккады способны не только возвращать ретинальный образ в fovea centralis, но и выводить его из этой области (Шахнович, 1974; Nachmias, 1959, 1961). У разных испытуемых соотношение направлений дрейфов и саккад широко варьирует, конституируя тот или иной индивидуальный тип зрительной фиксации (Шахнович, 1974).

Микросаккады. Объем коррекционных фазических движений не превышает трети всех выполняемых микросаккад (Проскурякова, Шахнович, 1968; Brусе, 1967). Большая их часть обеспечивает обследование (сканирование) поверхностей миниатюрных объектов, особенно пограничных областей. В этой функции микросаккады тождественны макросаккадам и, вероятно, являются их редуцированной формой. Подобные движения глаз имеют место, например, при восприятии игольного ушка, в которое пытаются вдеть нитку.

В пользу данного предположения свидетельствуют факты совпадения средней частоты микросаккад во время фиксации отдельной буквы и макросаккад при чтении текста (Cunitz, Steinman, 1969), постоянство отношения амплитудно-скоростных характеристик саккад разных уровней (Zuber, Stark, Cook, 1965), а также возможность последовательного уменьшения («свертывания») амплитуды

саккад в процессе зрительного научения (Steinman, Haddad, Skavenski, Wiman,1973). Существенно, что наблюдатели могут произвольно выполнять саккады амплитудой в несколько угловых минут, в том числе и в направлении, противоположном расположению предмета восприятия (это свидетельствует о том, что для выполнения фазических движений необходим не столько сигнал рассогласования, сколько структурирование зрительного поля, которое задает соответствующий масштаб оптической системы координат; если при выполнении саккады предмет исчезает, амплитуда произвольных фазических движений возрастает в 3–4 раза — Haddad, Steinman, 1973), осознают момент выполнения микросаккад и достаточно точно отслеживают микроступенчатые стимулы (рисунок 2.3) (Гиппе-



Рис. 2.3. Движения глаз при предъявлении пары точек и инструкции «переводить взгляд с точки на точку» (Гиппенрейтер, 1978). А — расстояние между точками 2'; Б — расстояние между точками 5'; В — расстояние между точками 8'. По обеим сторонам записей отметки испытуемого о переводе взора в соответствующую сторону

нрейтер, 1973, 1978; Haddad, Steinman, 1973). На «центральное» происхождение фазических микродвижений указывает их наличие у слепых и зрячих в полной темноте (Проскурякова, Шахнович, 1968; Филин, 1975).

В процессе фиксации сканирующие микросаккады (иногда их называют фликами) организуются в более или менее сложные структуры — «автономные фликовые комплексы» (Карпов, Карпова, 1978). Как правило, первый либо второй скачек, входящий в комплекс, уводит взор в сторону, а последующие — возвращают его в центр фиксируемого объекта; на временной развертке эта разновидность микродвижений имеет выраженную П-образную форму (Карпов, Карпова, Зеленкин, 1982; Feldon, Langston, 1977; Herishanu, Sharpe, 1981). Момент появления и направление фликов не зависят от направления предшествующего дрейфа. Частоты микросаккад и сканирующих макродвижений глаз примерно совпадают и изменяются в сходных обстоятельствах. Так, усиление познавательной активности (состояние напряженности, гиперактивация) ведет к увеличению, а ее снижение (состояние релаксации, отрешенности) — к снижению частоты саккад (Карпов, 1975; Карпов, Карпова, 1978). При выполнении задачи воспроизведения материала, предъявленного «на слух», фликовые комплексы соответствуют моментам ошибочного или неуверенного воспроизведения (Дормашев, Романов, 1989).

Наряду со сходством параметров и условий возникновения микро- и макросаккады обнаруживают значительные различия. Микросаккады более независимы от характеристик стимуляции (формы, цвета, размера фиксируемого элемента среды), не подчиняются действию «центра тяжести» миниатюрного контурного объекта и более «привязаны» к центральной точке фиксации. Поэтому, например, цепочки однонаправленных саккад, характерные для чтения текста или рассматривания изображений, на микроуровне встречаются редко (Steinman, 1965; Bryce, 1967; Ruttle, 1969; Murphy, Haddad, Steinman, 1974).

Зоны нечувствительности ГДС. ГДС отвечает далеко не на все оптические изменения среды. Область смещений стимула (около нулевого значения), не влияющих на окуломоторную активность, получила название «мертвого пространства» (Fender, Nye, 1961) или «зоны нечувствительности» сетчатки (Глезер, 1959). Согласно Ц. Решбасс (Rashbass, 1961), саккадическая ветвь ГДС не способна отвечать на смещение точечного источника света меньше 25–50 угл.

мин. Г. Бене-Кларк (Bennet-Clark, 1964) указывает несколько меньшую величину — 15–30 угл.мин., добавляя, что некоторые испытуемые реагируют на смещение цели менее 10 угл. мин. По данным В.Д. Глезера, зона нечувствительности соответствует размеру рецептивного поля в центре fovea — около 5 угл. мин. (Глезер, 1959; Глезер, Леушина, 1975), но в принципе, может быть и менее 2 угл. мин. (Timberlake, Wyman, Skavenski, Steinman, 1972). По крайней мере, в 65% случаев ступенчатое смещение стимула на 1.7 угл. мин. вызывает саккаду соответствующей амплитуды; данный эффект не зависит от опыта и предварительной практики испытуемого (Wyman, Steinman, 1973).

Широкий разброс значений, казалось бы, одного и того же явления позволяет предположить, что зона нечувствительности носит функциональный характер и имеет переменный размер. Определяющими в данном случае становятся не столько анатомо-физиологические свойства ГДС, сколько способ схематизации пространства и установка наблюдателя, его готовность отслеживать микросмещения стимула. В зависимости от поставленной задачи и индивидуальных особенностей наблюдатель настраивается на определенный пространственно-временной масштаб восприятия элементов и отношений среды, пропуская изменения стимула, меньшие функционально необходимых. Чем крупнее избираемый масштаб, тем шире зона нечувствительности. Данное предположение объясняет возможность переноса структуры «мертвого пространства» на уровень макродвижений глаз.

Выражением нечувствительности ГДС к непроизвольному смещению оптических осей является порог «позиционного чувства» глаза, или зона блуждания взора во время фиксации (Cornsweet, 1956). Ее величина не выходит за пределы 1 угл. град., варьируя в зависимости от стимульных условий решаемой наблюдателем задачи, его состояния и других обстоятельств. В частности, зона блуждания взора расширяется с увеличением продолжительности фиксации в условиях безориентирного поля зрения при стабилизации изображения фиксируемого объекта относительно сетчатки в результате поражения центрального и/или цветового зрения (Ярбус, 1965; Шахнович, 1974; Ditchburn, 1973). Существенно, что непроизвольные микродвижения глаз могут не только содействовать, но и противостоять выполнению произвольных окуломоторных актов, т.е. выступают в роли «собственных шумов» ГДС. При исключении или нарушении зрительной афферентации их влияние на окуломоторную

систему становится особенно наглядным. Согласно данным Ю.Б. Гиппенрейтер (1964; 1978), порог позиционного (мышечного) чувства глаз в условиях выполнения зрительной задачи имеет величину около 40 угл. мин.

Безориентирное поле зрения и элиминация оптической стимуляции. При исчезновении стимула в безориентирном поле зрения или при попытке фиксировать объект в темноте амплитуда и скорость дрейфа возрастают в 4–6 раз, а параметры незрительных видов нистагма (калорического, гальванического и др.) — более чем на порядок. Усиливается коррекционная зависимость между дрейфом и микросаккадами, причем частота фазических движений и их корректирующие возможности уменьшаются (Шахнович, 1974; Гиппенрейтер, 1978; Курашвили, Бабияк, 1975; Matin, Matin, Pearce, 1970; Skavenski, Steinman, 1970; Ditchburn, 1973).

В этих условиях натуральные функции дрейфа (стабилизация взора, дезадаптация сетчатки) остаются нереализованными, а сам он выражает лишь «шум» окуломоторной системы (Skavenski, Steinman, 1970). Ведущими афферентаторами ГДС становятся органы равновесия. Дисбаланс сигналов, поступающих от правого и левого отолитовых аппаратов, инициирует плавные смещения глаз в каком-либо одном из направлений[3]. Именно в темноте тонические микродвижения правого и левого глаза становятся асимметричными (Skavenski, Steinman, 1970; Haddad, Winterson, 1975), а «зона нечувствительности» увеличивается до 2–3 угл. град. (Becker, 1976).

Полученные экспериментальные данные указывают не только на зависимость микродвижений глаз от зрительной афферентации, но и на определяющую роль задачи: требование сохранить положение глаз в заданном направлении явно отлично от требования фиксации видимого элемента среды. В противоположность решению зрительной задачи, сохранение позиции глаза в темноте предполагает активное участие проприоцептивной и вестибулярной афферентации, с одной стороны, и схемы окружающего индивида пространства, соотнесенной со схемой его тела,— с другой. Сохранение направленности глаз в темноте — всегда усилие (Matin, Matin, Pearce, 1970), или волевое действие субъекта, в какой-то степени компенсирующее

[3] Дисбаланс вестибулярной афферентации является, в частности, причиной «спонтанного нистагма», хорошо известного отоларингологам (Kornhuber, 1966), а также «физиологического нистагма».

отсутствие тонкого зрительного механизма стабилизации взора (Шахнович, 1974).

При попытке сохранить эксцентрическое направление взора в темноте глаза дрейфуют в сторону позиции покоя. Общая закономерность состоит в том, что чем больше отклонен взор, тем выше скорость тонических движений. Максимальная скорость дрейфа, соответствующая эксцентриситету в 35°, достигает 10 угл. град/с. Частично плавные смещения глаз компенсируются возвратными, или коррекционными, саккадами, оформляясь в пилообразные периодические колебания — «нистагм конечной позиции» (Blomberg, 1958). Появление коррекционных саккад в темноте указывает на надмодальный (незрительный) характер репрезентации фиксируемого объекта и возможность использования экстраретинальной обратной связи в регуляции движений глаз. Большие отклонения глаз (свыше 5°) от заданного направления осознаются и корректируются произвольно (Becker, Fuch, 1969; Becker, Klein, 1973; Barns, Gresty, 1973).

Движения закрытых глаз, сопровождающих целенаправленную деятельность человека, варьируют в диапазоне ±15° и состоят из ускоренных однонаправленных макродрейфов и возвратных саккад. Продолжительность дрейфа коррелирует с продолжительностью усилия (умственной работой) испытуемого. Во время измененных состояний сознания, которые снимают направленную активность испытуемого, саккады подавляются, а доминирующей формой окуломоторной активности становятся плавные периодические и апериодические колебания (вращения) глаз, в несколько раз превышающие амплитуду и скорость обычного дрейфа (Буякас, Михеев, Пономаренко, 1985; Буякас, Михеев, 1987).

Освещение демонстрируемых объектов стробоскопическим светом оказывает влияние преимущественно на дрейфовый компонент окуломоторной активности. Во время фиксации центра кольца при инструкции подавления саккад зрительные оси смещаются в сторону, совершая одновременно синусоидальные колебания, синхронизированные с частотой вспышек света (латентный период 130 мс). Амплитуда колебаний уменьшается с увеличением частоты вспышек от 20 угл. мин. на частоте 0.5Гц до 6 угл. мин.— на частоте 5Гц. На частотах свыше 10Гц колебания исчезают, но некомпенсированный дрейф с амплитудой в несколько угл. град. сохраняется (Haddad, Winterson, 1975). Если задача подавления микросаккад не ставится, стробоскопическое освещение (0.5–2Гц) может приводить к увеличению фазических

движений (West, Boyce, 1967). Стробоскопическая демонстрация объекта создает, следовательно, промежуточные условия организации движений на свету и в темноте, обнажая рассогласование разнонаправленных (по способу влияния) детерминант — зрительной (ретинальной) и незрительной (экстраретинальной) природы.

Таким образом, ретинотопическая модель следящей системы в лучшем случае описывает наиболее общие принципы сохранения (стабилизации) направленности взора: 1) предварительную заданность определенной направленности глаз; 2) существование отрицательной обратной связи окуломоторной системы и 3) наличие порога смещения направленности глаз. Главный постулат модели: предположение о неуправляемости дрейфа, случайности его направления экспериментально не подтверждается. Не подтверждается и представление о рассогласовании между локализацией ретинального образа и fovea centralis как стимуле, запускающем микросаккады в направлении объекта фиксации. По-видимому, ни дрейф, ни микросаккады не несут жестко специализированных функций, а их биомеханические возможности реализуются в зависимости от конкретного сочетания внешних и внутренних условий (детерминант) окуломоторного акта.

Как мы убедились, параметры дрейфа (скорость, направление, амплитуда) тесно связаны с параметрами оптической стимуляции (яркостью и контрастностью объектов, их ориентацией, структурой, величиной, скоростью перемещения, способом освещения, размером поля зрения), требованиями решаемой задачи (типом — интеллектуальная/зрительная/окуломоторная, содержанием, сложностью), характеристиками внимания (площадью настройки, устойчивостью, напряженностью), влиянием интермодальных взаимодействий, индивидуальными особенностями наблюдателей и др. Поэтому дрейф не только отклоняет оптическую ось глаз от заданной ориентации, но и содействует ее сохранению. Сходные обстоятельства (детерминанты) определяют характеристики микросаккад (их амплитуду, направление, частоту), которые наряду с коррекцией направления оптической оси глаз осуществляют сканирование миниатюрного объекта. Организуясь в самостоятельные структуры, микросаккады и дрейф обеспечивают относительную стабилизацию взора наблюдателя и подчинены гибкой системе детерминант. В число последних входят как зрительные, так и незрительные (экстраретинальные, интермодальные и др.) составляющие, действие которых нередко носит альтернативный характер.

Зрительно-окуломоторные отношения, складывающиеся во время фиксации, выступают как многоуровневые, многократно опосредствованные и носят скорее функциональный, а не морфологический характер. Совершенно необязательно, чтобы фиксируемый предмет проецировался именно в область *fovea centralis*, как необязательно совпадение «зоны нечувствительности с величиной рецептивного поля в центре fovea или наличия освещенного объекта вообще. Приемлемая освещенность зрительного поля, анизотропность сетчатки и минимальный размер ее рецептивного поля создают необходимые, но недостаточные условия для сохранения направленности взора. Последние определяются содержанием взаимосвязи субъекта восприятия с объектом той задачей, которая выполняется наблюдателем. В зависимости от ее требований складывается готовность воспринимать определенные пространственные и временные отношения среды (как бы устанавливается масштаб восприятия предметов некоторого класса), которая формирует соответствующий ей окуломоторный «центр тяжести» и «зону нечувствительности» — пространство допустимых отклонений направления глаз во время фиксаций. При этом особенно важен тип задачи: является ли она собственно зрительной, окуломоторной или интеллектуальной, а также участие волевого компонента в процессе ее решения. Именно функциональность зрительно-окуломоторных отношений объясняет тот факт, что при усложнении или затруднении условий фиксации дрейф развивает скорость и амплитуду диапазона прослеживающих движений (даже в отсутствие движущихся стимулов), а микроскачки «растягиваются» до параметров обычных саккад.1

Глава 3. СТАБИЛЬНОСТЬ ВОСПРИЯТИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ ДИСМЕТРИИ ФИКСАЦИОННЫХ ПОВОРОТОВ ГЛАЗ

3.1. Трансформация величины зрительной обратной связи

Одно из главных допущений теорий стабильности видимого мира, использующих идею «компенсации» (компарации, принятия в расчет) окуломоторной и сетчаточной информации о движении, состоит в признании жесткого метрического соответствия между углом поворота глаза и зрительным углом, на который в процессе этого поворота перемещается объективно неподвижная зрительная цель. Другое важное допущение касается дискретного принципа работы глазодвигательной системы (ГДС).

Основанием для этих допущения явились следующие данные. Во-первых, это общеизвестный факт, что фиксационный поворот глаза с одного объекта на другой состоит, как правило, из одной саккады (Леушина, 1971; Ярбус, 1965). Во-вторых, результаты измерений латентных периодов движений глаз в ответ на предъявление периферического целевого объекта, которые показали, что глазодвигательная реакция имеет задержку 200–300 мс (Леушина, 1971; Alpern, 1972; Becker, Fuchs, 1969; Dodge,1903). В-третьих, представление о баллистическом типе движений глаз, основанное на близкой к линейной зависимости средней скорости саккады от ее амплитуды (Гуревич, 1971; Леушина, 1971; Ярбус, 1965; Westheimer, 1954a), задержка в 100 мс для изменения скорости плавных движений глаз в ответ на ускорение или замедления скорости стимула (Rashbass, 1961; Westheimer, 1954b) и невозможность произвольной коррекции амплитудно-скоростных параметров движения глаз (Леушина, 1971;

Ярбус, 1965; Alpern, 1972; Heiwood, Churcher, 1972). Наконец, в-четвертых, это идея о рефрактерности ГДС в течение латентного периода, т. е. ее нечувствительности к происходящим в этот период изменениям входного зрительного сигнала (Westheimer, 1954a).

Наиболее адекватным методом, посредством которого могут быть оценены параметры работы ГДС и, тем самым, допущения, лежащие в основе компенсационной теории стабильности, является трансформация зрительной обратной связи. Нарушая естественные, сформированные координации между поворотом глаз на объект и динамикой сетчаточной проекции этого объекта, мы тем самым создаем условия для нестабильного восприятия окружающего мира.

Величина зрительной обратной связи ГДС есть отношение между углом поворота глаза и соответствующей ему амплитудой смещения проекции объекта по сетчатке. В обычных условиях работы ГДС величину зрительной обратной связи можно считать близкой к единице. Однако в принципе эта величина может быть как больше единицы (визуальный угол, на который смещается проекция объекта, больше угла поворота глаза), так и меньше единицы (отношение углов обратное). Случаю, когда величина зрительной обратной связи равна нулю, соответствует хорошо известный в психологии и психофизиологии зрения феномен стабилизации изображения объектов на сетчатке (Зинченко, Вергилес, 1969; Ярбус, 1965).

Среди кибернетических моделей, предназначенных для описания работы ГДС, наиболее разработанной и авторитетной является модель Л. Янга и Л. Старка, которую они обозначили как дискретную (sample data model) (Young, Stark, 1962, 1963). Одно из главных допущений этой модели состоит, как это следует из ее названия, в дискретной отработке сигнала, подаваемого на вход системы. Интервал дискретизации, принятый Л. Янгом и Л. Старком, равен 200 мс.

Более поздние модификации модели Л. Янга и Л. Старка, как авторские (Young et al., 1968), так и других исследователей (Милсум, 1968; Becker, 1973; Milhorn, 1966; Robinson, 1975), сохранили дискретный принцип управления только для саккадических движений глаз, а контур регуляции плавных движений глаз стал описываться как замкнутый, непрерывно учитывающий изменения входного сигнала, без чего оказалось невозможным объяснить диапазон устойчивого плавного прослеживания объекта, движущегося по синусоидальному или экспоненциальному закону.

Согласно модели Л. Янга и Л. Старка в условиях измененной обратной связи каждая саккада из фиксационного поворота глаз

должна строиться заново и строго соответствовать углу до целевого объекта.

Отсюда следует, что

$$K_{пр} = 1, \qquad (1)$$

где $K_{пр}$ — коэффициент прямой связи ГДС.

Согласно этим условиям можно определить диапазон изменений $K_{обр}$, в котором ГДС сохраняет устойчивость, т.е. способность устанавливать устойчивое, или равновесное состояние после подачи на вход сигнала рассогласования.

Амплитуду *n*-ой саккады из фиксационного поворота для дискретной модели можно рассчитать по формуле

$$A_n = A_{n-1}\,(1 + K_{обр}), \qquad (2)$$

где $K_{обр}$ берется с учетом знака. Для сохранения устойчивости ГДС должно выполняться неравенство

$$|A_n| < |A_{n-1}|,$$

или

$$\frac{A_n}{A_{n-1}} < |1|. \qquad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим, что

$$\frac{A_n}{A_{n-1}} = (1+K_{обр}) < |1|. \qquad (4)$$

Из (4) находим, что

$$-2 < K_{обр} < 0. \qquad (5)$$

Л. Янг и Л. Старк представили и экспериментальное подтверждение выводов дискретной модели, используя для трансформации обратной связи способ электронного управления позицией световой точки на экране дисплея сигналом от регистратора движений глаз. Однако к этим результатам надо относиться с осторожностью, так как они не были воспроизведены полностью в более поздних исследованиях, использующих иные способы трансформации $K_{обр}$.

Было показано (Барабанщиков, 1978; Шахнович, 1974; Howard, 1970), что при $К_{обр} > 0$, т.е. при положительном знаке обратной связи, ГДС действительно, теряла устойчивость, однако конкретные формы глазодвигательной активности не соответствовали тем, которые приводят Л. Янг и Л. Старк.

В эксперименте Андреевой и др., (1975) был подтвержден не только сам факт наличия неустойчивости ГДС при $К_{обр} = 0$, но, в отличии от предлагаемой дискретной моделью ступенчатой саккадической реакции, была установлена возможность плавного прослеживания экстрафовеального объекта.

Однако особый интерес представляет исследование ГДС в диапазоне устойчивости, поскольку именно в таких условиях ГДС способна выполнить свою основную функцию и осуществить полный цикл регулирования. Одна из важнейших задач, стоящая перед таким исследованием — экспериментальное определение границ устойчивости ГДС с отрицательной обратной связью.

Нам известно только одно исследование после Л. Янга и Л. Старка, проведенное Дж. Фоссиусом (Vossius, 1972), в котором ставилась подобная задача. Фоссиус использовал тот же способ изменения величины $К_{обр}$, что и его предшественники, однако внес модификации в регистрирующую и усилительную аппаратуру, позволившие расширить полосу пропускания и оперировать на выходе не только быстрыми составляющими глазодвигательного ответа, но и медленными. Такое чисто методическое усовершенствование привело к совершенно другому результату — ГДС сохраняла устойчивость при $К_{обр} = -4{,}6$ и даже при $К_{обр} = -8{,}4$. Среди других новых и важных результатов, полученных Дж. Фоссиусом, следует отметить резкое сокращение количества саккад уже при третьей попытке осуществить фиксационный поворот, а также значительный процент плавных движений глаз в фиксационном повороте.

Сравнение результатов этих двух исследований убедительно показывает, какое важное значение имеет адекватность способа изменения обратной связи, в частности, ее величины. К сожалению, способ, использованный Дж. Фоссиусом, также не лишен недостатков. Во-первых, как видно из приводимых им записей, в начальных стадиях первого фиксационного поворота световой луч выскакивал за экран, т.е. переставал быть видимым. Во-вторых, использованный им способ позволяет осуществить только однократный режим предъявления объекта в условиях изменения обратной связи. В-третьих, не исключена возможность произвольного управления взором с опо-

рой на границы экрана и внешнюю обстановку, что интерферирует с задачей фиксации целевого объекта.

В описанных ниже экспериментах была использована методика оптической трансформация величины зрительной обратной связи, которая имеет ряд преимуществ перед другими методическими приемами, использовавшимися для этих целей (внешние оптические системы, «оптические рычаги», электронное управление дисплеем сигналом от движений глаз): она позволят длительно рассматривать внешние объекты (любой формы и содержания, неподвижные и подвижные) в условиях строго контролируемых параметров движений глаз и коэффициента зрительной обратной связи (Кобр).

Цель экспериментов состояла в оценке диапазона устойчивости системы зрительного пространственного восприятия к условиям, когда ГДС работает с систематической позиционной ошибкой.

В связи с этим мы поставили перед собой *задачу* исследовать параметры и закономерности переходного процесса ГДС с отрицательной зрительной обратной связью и, в частности, проверить выводы дискретной модели регуляции движений глаз и компенсационной теории стабильности видимого мира. Предполагается, что при сохранении натуральных функций ГДС произойдет изменение способов их реализации, поэтому можно ожидать, что анализ особенностей окуломоторной активности в этих условиях позволит полнее раскрыть структуру и закономерности функционирования ГДС и зрительного пространственного восприятия.. Поскольку трансформация зрительной обратной связи ГДС моделирует «срывы» биорегуляций, функционирование систем в ситуации патологии, которая может экстренно возникнуть в жизни организма (Анохин, 1960), интересным представляется вопрос о возможностях адаптации ГДС, а также сравнение принципов работы ГДС человека и технических систем автоматического регулирования, функционирующих в близких условиях.

3.2. Общая методика исследования

Способ трансформации обратной связи, использованный в исследовании. В задачу нашего исследования, входило изучение механизмов регуляции движений глаз в условиях измене-

ния величины зрительной обратной связи. Для этих целей была разработана (совместно с Н.Ю.Вергилесом) и реализована новая оптическая методика.

В основу данного способа положены эффекты, возникающие при изменении коэффициента увеличения оптической системы глаза. Принцип его состоит в следующем.

Проекция стимула на сетчатке определяется углом между его позицией и оптической осью глаза. Именно на этот угол и должен повернуться глаз, чтобы стимул спроецировался точно в центр фовеа (рисунок 3.1*а*). Аналогичные отношения имеют место и в том случае, если перед глазом находится увеличивающая или уменьшающая оптические системы (на рисунке 3.1*б* для простоты построения изображена только одна положительная линза). Здесь стимул виден под углом α, т.е. под тем, под которым рассматривается его мнимое изоб-

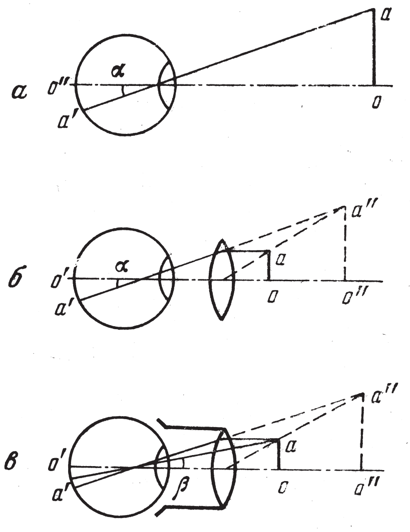


Рис. 3.1. Схема, иллюстрирующая зависимость угла смещения проекции объекта по сетчатке от угла поворота глаза:
а — в обычных условиях; б — при линзе, расположенной перед глазом; *в* — при линзе, укрепленной на глазу, *о, а* — объекты фиксации, *о', а'* — проекция объектов на сетчатке, о", *а"* — мнимое (воспринимаемое) положение объектов в пространстве; α, β — угол поворота глаза с точки о на точку *а*

ражение *a"*, и на этот же угол а должен повернуться глаз, чтобы перенести фиксацию с точки *o"* на точку *a"*.

Иное дело, когда оптическая система поворачивается вместе с глазом (рисунок 3.1*в*). В этом случае угол поворота глаза, необходимый для точного совмещения проекции точка *a* с фовеа, будет равен β. Из построения видно, что $\alpha \neq \beta$, причем если использована увеличивающая линза, то $\alpha > \beta$, а при уменьшающей линзе $\alpha < \beta$.

Отношение a/b и даст значение $К_{обр}$. Нетрудно заметить, что отношение α/β совпадает по абсолютной величине с коэффициентом увеличения оптической системы ($K_{оп}$), т.е. $K_{оп} = |K_{обр}|$. Следовательно, меняя силу оптической системы, можно управлять и величиной $K_{обр}$, оставляя без изменения естественный знак обратной связи (отрицательный).

Практически данный способ был реализован в виде оптической системы, укрепленной на центральной глазной присоске. Использовались два типа оптических систем: увеличивающих с коэффициентами увеличения 1.8; 2.4 и 3.5 и уменьшающих с коэффициентами 0.5 и 0.3. Реально каждая оптическая система состояла из двух линз — положительной и отрицательной, что обеспечивало фокусировку четкого изображения на сетчатке. При использовании в качестве окуляра отрицательной линзы (рисунок 3.2*а*) система работала на увеличение, а при окуляре из положительной линзы (рисунок 3.2*б*) — на уменьше-

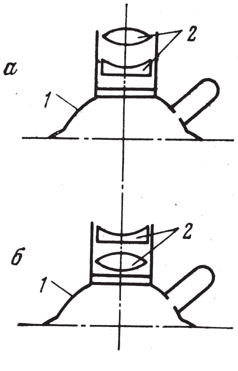


Рис. 3.2. Схематическое изображение глазных присосок с оптическими системами, которые использовались для увеличения (а) и уменьшения (б) угла проекции внешнего объекта на сетчатке:
1 — корпус присоски с центральным тубусом; 2 — оптическая система, состоящая из положительной и отрицательной линз

ние. Размеры линз колебались от 5 до 8 мм в диаметре. Размер поля зрения зависел от коэффициента увеличения оптической системы и длины тубуса, используемого для ее крепления к присоске, и был равен 15–40° в диаметре.

3.3. Фиксационные повороты глаз как функция величины зрительной обратной связи

Основная цель эксперимента — регистрация фиксационных поворотов глаз в ответ на ступенчатое смещение позиции целевого объекта и оценка перцептивных эффектов, связанных с рассогласованием управляющих сигналов к глазным мышцам и результирующей позиционной ошибкой глаза относительно зрительной цели движения.

Методика. Тест-объектом служила световая точка, предъявляемая в полной темноте на экране индикатора с электронно-лучевой трубкой, имеющей малое время послесвечения. Яркость точки подбиралась с таким расчетом, чтобы не вызвать появления последовательного образа.

Для управления положением точки на экране использовали прямоугольные электрические импульсы в интервале частот от 0.05 до 0.2Гц, подаваемые от функционального генератора. Исследовали только фиксационные повороты в горизонтальной плоскости. Частоты переключения были подобраны таким образом, чтобы было достаточно времени для завершения полного цикла фиксационного поворота.

Измерения проводились для пяти значений $K_{обр}$: –0.3; –0.5; –1.8; –2.4 и –3.5 и трех углов смещения точки: 2.5°, 5° и 10° (исключение составлял случай, когда $K_{обр} = -3.5$, где ограниченное поле зрения позволяло предъявлять только смещение точки на 2.5°). Кроме того, для контроля были проведены опыты без изменения $K_{обр}$ ($K_{обр} = -1$). Для каждого угла смещения с каждым $K_{обр}$ было проведено не менее чем по три опыта с разными испытуемыми.

Основной анализ проводился для первых 10 фиксационных поворотов из каждого опыта. Наряду с этим, чтобы учесть возможные временные изменения в работе глазодвигательной системы, анализировались по 10 фиксационных поворотов через 5 и 10 мин с начала опыта.

Кроме оценки общего характера фиксационного поворота, сравнение полученных результатов с дискретной моделью включало также оценку амплитудных параметров саккад с целью получить количественные данные о работе ГДС. Так как в течение опыта $K_{обр}$ оставался без изменений, то о работе ГДС можно вполне однозначно судить по величине $K_{пр}$.

По определению,

$$K_{пр} = \frac{A_1}{\alpha}, \tag{6}$$

где A_1 — амплитуда первой саккады из фиксационного поворота (выход системы), а α — визуальный угол до целевого объекта. α удобней выразить через угол смещения точки β и коэффициент увеличения оптической системы, установленной на присоске ($K_{оп}$) (см. рисунок 3.1):

$$\alpha = \beta K_{оп}. \tag{7}$$

Подставляя (7) в (6), получим

$$K_{пр} = \frac{A_1}{\beta K_{оп}}. \tag{8}$$

Амплитуда саккад измерялась с точностью до 0.25°.

Всего в этом эксперименте участвовало пять испытуемых с нормальным зрением в возрасте от 21 до 30 лет. Все они имели опыт работы с глазными присосками.

Сразу же после установки на глаз присоски с оптической системой или без нее создавались темновые условия, при которых оставалась видимой только одна световая точка. Каждый опыт длился не менее 10 мин. В течение этого времени испытуемый совершал фиксационные повороты на один и тот же угол.

Результаты. Общий характер фиксационных поворотов, зарегистрированных в опытах при $-2 < K_{обр} < 0$, совпадает с тем, который описан у Л. Янга и Л. Старка. Так же как и эти авторы, мы получили на наших записях специфические движения глаз, не свойственные фиксационному повороту в естественных условиях. При $K_{обр} > 1$ фиксационный поворот состоял из целого ряда однонаправленных саккад, амплитуда которых последовательно уменьшалась вплоть до

достижения глазом устойчивого положения. При $K_{обр}$ = –0.3 саккад было больше, а их амплитуды, соответственно, меньше, чем при $K_{обр}$ = –0.5 (рисунок 3.3*а*, *б)*.

При $K_{обр}$ = –1.8 на записях появлялись позиционные «забросы» глаза, за которыми следовали возвратные саккады, постепенно уменьшающие величину позиционной ошибки до нуля (рисунок 3.4*а)*.

Однако для $K_{обр} < -2$ мы получили результаты, отличающиеся от прогноза дискретной модели и данных Л. Янга и Л. Старка.

При $K_{обр}$ = –2.4 (рисунок 3.4б) фиксационный поворот имел характер затухающих колебаний и был более развернут как во временном, так и в пространственном отношении по сравнению с фиксационным поворотом при $K_{обр}$ = –1.8. Свое численное выражение это находит в количестве саккад, составляющих фиксационный поворот. Если для $K_{обр}$ = –2.4, при угле поворота 5° фиксационный поворот состоял из 10–12 саккад, то для $K_{обр}$ = –1.8 и том же угле поворота их было 4–6.

Этот факт — возможность смены точек фиксации при $K_{обр}$ = –2.4, имеет принципиальное значение. Он показывает, что предел устойчивости ГДС лежит, по-видимому, выше $K_{обр}$ = –2. Поэтому особый интерес приобретает исследование характера фиксационного поворота при $K_{обр}$ = –3.5. Здесь мы не получили полного затухания коле-

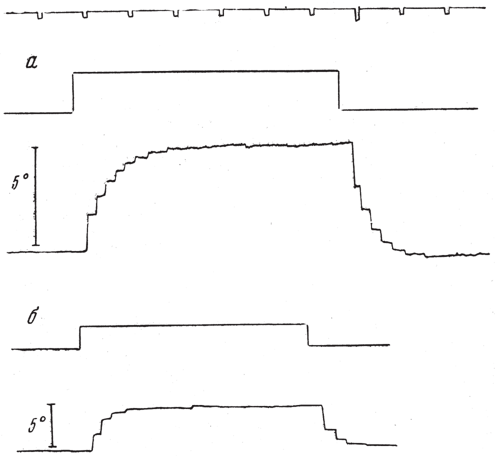


Рис. 3.3. Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) в процессе смены точек фиксации при $K_{обр}$ = –0.3 (*а*) и $K_{обр}$ = –0.5 (*б*). *Вверху* — стимул

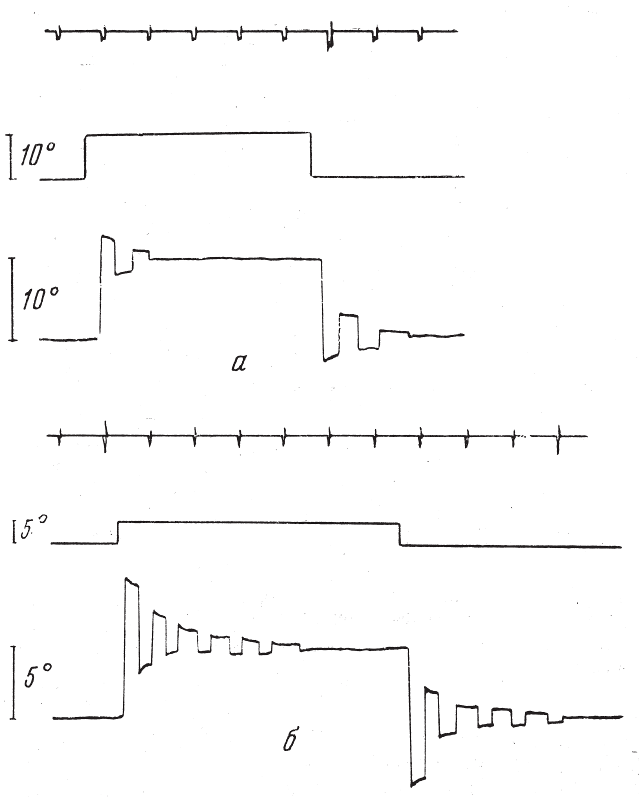


Рис. 3.4. Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) в процессе смены точек фиксации при $K_{обр} = -1.8$ (*а*) и $K_{обр} = -2.4$ (*б*). *Вверху* — стимул

баний глаза при первых попытках фиксировать световую точку, сместившуюся на угол 2.5°. Не было получено, однако, и режима самогенерации с непрерывным увеличением амплитуды движений, как это следует из дискретной модели. Начало фиксационного поворота состояло из нескольких саккад, амплитуда которых уменьшалась вплоть до величины 1–2°, после чего глаз вступал в периодический колебательный режим. В ответ на новое смещение световой точки этот процесс повторялся, заканчиваясь колебаниями глаза вокруг нового положения точки (рисунок 3.5*а*). Тем не менее через 5–6 мин практики, некоторым испытуемым удалось добиться достаточно

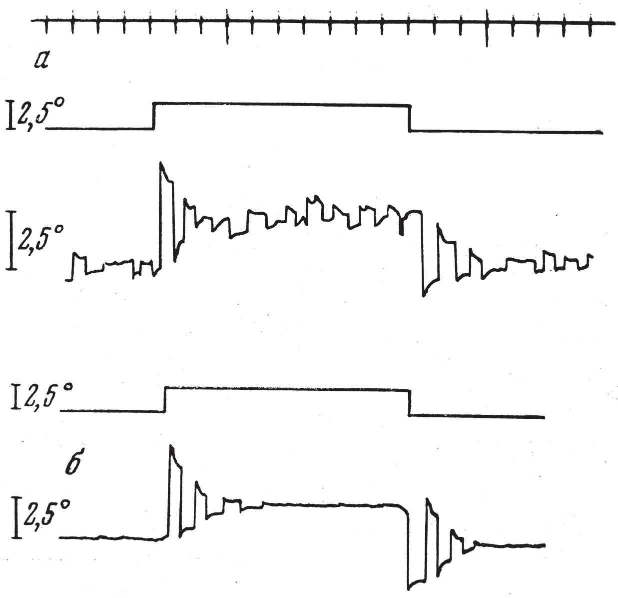


Рис. 3.5. Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) в процессе смены точек фиксации при $K_{обр}$ = –3.5:
а — в начале эксперимента, *б* — через 5–6 мин после начала.
Вверху — стимул

устойчивого состояния фиксации, которое могло быть воспроизведено и в ответ на новое смещение цели (рисунок 3.5*б*).

В целом следует отметить, что фиксационные повороты глаз в условиях измененной зрительной обратной связи носят автоматизированный, непроизвольный характер, осуществляются как единый процесс.

Это проявляется еще и в том, что даже в промежутках между саккадами глаз не остается в покое, как предсказывает дискретная модель, а совершает плавное движение, всегда направленное в сторону цели. При $K_{обр}$ = –0.3 и $K_{обр}$ = –0.5 скорости плавных движений невелики (0.5–1.0°/с), хотя и они значительно выше скорости обычного фиксационного дрейфа. Особенно ясно виден закономерный характер плавных движений, заполняющих межсаккадические паузы, при $K_{обр} < -1$. В этих условиях плавные движения начинаются сразу же после саккады и направлены в сторону, противоположную направлению предыдущей саккады. Скорости плавных движений зависят

от величины $K_{обр}$. Так, при $K_{обр} = -1.8$ они достигают 0.5–2.0°/с, а при $K_{обр} = -3.5$ составляют 5.0–7.0°/с.

К общим наблюдениям за характером фиксационных поворотов глаз следует добавить и тот факт, что хотя первые 10–20 поворотов и отличались большим постоянством параметров, их параметры могли измениться к концу опыта. Мы уже касались временных изменений при $K_{обр} = -3.5$. Были они выраженными и при $K_{обр} = -2.4$. В одном и том же опыте первые фиксационные повороты на 5° содержали по 10–12 саккад, через 5 мин их количество в фиксационном повороте уменьшилось до 6–8, а через 10 мин — до 2–5. Следы этой тенденции проявляются и при $K_{обр} = -1.8$, хотя они сглажены невысоким исходным количеством саккад в фиксационном повороте. Для $K_{обр} > -1$ временные изменения в отношении количества саккад в фиксационном повороте были незначительны.

Обратимся теперь к количественным оценкам работы ГДС в условиях измененной обратной связи. На рисунке 3.6 нанесены значения $K_{пр}$ для всех величин $K_{обр}$ за исключением $K_{обр} = -3.5$. Эти значения подсчитаны по формуле (8) и усреднены для каждого угла поворота. Вертикальные отрезки указывают величину среднеквадратического отклонения.

Сразу следует указать, что $K_{пр}$ для всех $K_{обр}$ мало зависит от угла поворота β. Это и понятно, так как ГДС является линейной, по крайней мере в диапазоне 2.5–10°.

Далее, обращает на себя внимание то, что при $K_{обр} < -1$ значения $K_{пр}$ лежат ниже уровня $K_{пр} = 1$, а при $K_{обр} > -1$ —несколько выше этого уровня. Таким образом, вопреки дискретной модели, которая описывает систему регуляции движений глаз как систему с постоянными параметрами, мы получили, что она реагирует на изменение оптической обратной связи изменением коэффициента прямой связи. Как при $K_{обр} < -1$, так и при $K_{обр} > -1$, направление изменений $K_{пр}$ зависит от величины $K_{обр}$. Во всех случаях изменения $K_{пр}$ направлено в сторону сокращения позиционной ошибки, возникающей после очередной саккады.

Увеличение $K_{пр}$ означает, что каждая саккада будет больше визуального угла до цели, а уменьшение $K_{пр}$ обозначает сокращение амплитуды саккады по сравнению с визуальным углом. Следовательно, должны существовать условия, при которых точный поворот глаза будет состоять из одной саккады даже при изменении $K_{обр}$.

Оптимальное значение $K_{пр}$ ($K_{пр.\,оптим}$) можно получить из равенства

$$\Delta E_1 = A_1 - \beta, \qquad (9)$$

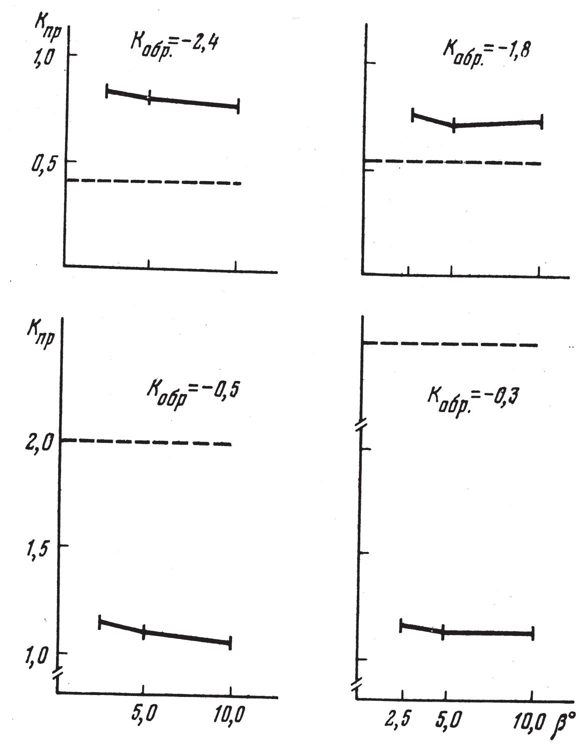


Рис. 3.6. Графики зависимости $K_{пр}$ от угла поворота (β) и от величины $K_{обр}$. Вертикальные черточки на графиках указывают значение среднеквадратичного отклонения (σ). Штриховая линия показывает значение $K_{пр.\ оптим.}$

где ΔE_1 — величина позиционной ошибки в установке глаза после первой саккады.

Так как $A_1 = \alpha K_{пр}$, а $\beta = \dfrac{\alpha}{K_{обр}}$,

то (9) можно записать как

$$\Delta E_1 = \alpha\left(K_{пр} - \frac{1}{K_{обр}}\right). \qquad (10)$$

Если первая саккада является точной, то $\Delta E_1 = 0$, а $\alpha \neq 0$. Таким образом, из (10) следует, что

$$K_{пр.оптим} = -\frac{1}{K_{обр}}. \qquad (11)$$

Значения $K_{пр.\ оптим}$ отмечены на рисунке 3.6 пунктирной линией.

Учитывая те наблюдения, которые указывали на временныме изменения параметров фиксационных поворотов, мы провели измерения $K_{пр}$ для $K_{обр} = -2.4$ и $K_{обр} = -0.3$ через 5 и 10 мин после начала опыта.

Результаты этих измерений показаны на рисунке 3.7.

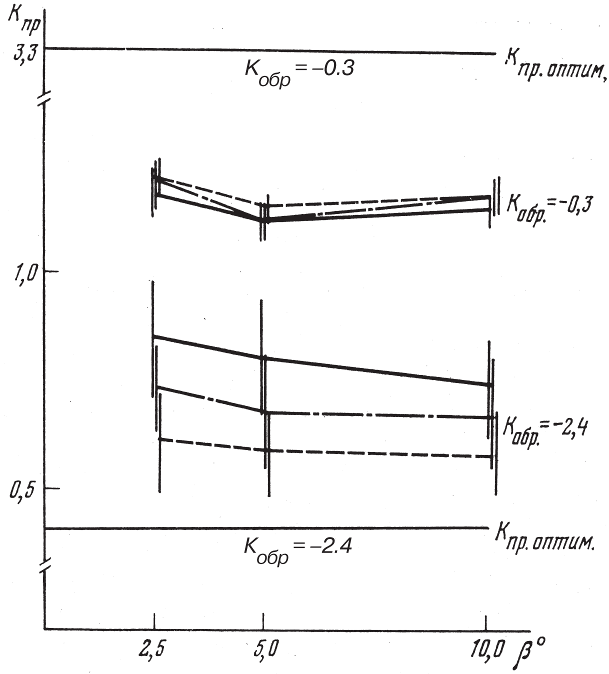


Рис. 3.7. Графики зависимости $K_{пр}$ от угла поворота (β) и от длительности периода изменения $K_{обр}$ для $K_{обр} = -0.3$ и $K_{обр} = -2.4$. Вертикальные черточки на графиках указывают значение среднеквадратичного отклонения (σ):

———— 1–2 мин эксперимента,

—·—·— 5–6 мин эксперимента,

— — — 10–11 мин эксперимента

Можно сказать, что если для $K_{обр} = -0.3$ значения $K_{пр}$ почти не изменились во времени (заметна лишь легкая тенденция в направлении к $K_{пр.\ оптим}$), то для $K_{обр} = -2.4$ эта тенденция выражена значительно. Статистический анализ показал, что при $K_{обр} = -2.4$, $K_{пр}^{(Ос)}$ значимо больше, чем $K_{пр}^{(5с)}$ ($p < 0.05$), а $K_{пр}^{(5с)}$ превышает значение $K_{пр}^{(10с)}$ ($p < 0.10$). Для $K_{обр} = -0.3$ различия между $K_{пр}^{(Ос)}$ и $K_{пр}^{(5с)}$, а также $K_{пр}^{(Ос)}$ и $K_{пр}^{(10с)}$ незначимы.

К характеристике ГДС как следящей системы

Полученные результаты можно суммировать следующим образом.

1. Фиксационный поворот при изменении величины Кобр осуществляется с помощью нескольких саккад, пространственно-временные параметры которых зависят от величины Кобр. При Кобр > –1 все саккады из фиксационного поворота направлены в одну сторону, а при Кобр < –1 направление саккад чередуется. И в том, и в другом случае каждая последующая саккада имеет меньшую амплитуду, чем предыдущая.
2. Вопреки предсказаниям дискретной модели регуляции движений глаз, предел устойчивости глазодвигательной системы находится выше Кобр = –2.0. При Кобр = –2.4 фиксационный поворот сразу имеет характер затухающих колебаний, а при Кобр = –3.5 устойчивая фиксация наступает через несколько минут.
3. Расширение диапазона устойчивости ГДС связано с изменением Кпр в направлении, обеспечивающем оптимизацию фиксационного поворота, уменьшение угла рассогласования между позицией глаза и целевого объекта. Изменение Кпр является реакцией системы на изменение Кобр и имеет определенную временную динамику, особенно выраженную для Кобр < –1.

По-видимому, главная причина отличия наших результатов от результатов Л. Янга и Л. Старка заключается в особенностях использованных способов изменения обратной связи. Отличаются они и от результатов Дж. Фоссиуса, хотя и совпадают с ними относительно сдвига предела устойчивости ГДС к величинам $K_{обр} < -2$ и относительно изменения параметров повторных фиксационных поворотов. Отличие же заключается в том, что, по нашим данным, предел устойчивости ГДС лежит ниже значения $K_{обр} = -3.5$ и что процесс изменения параметров фиксационных поворотов идет несколько медленнее.

Обнаруженные эффекты перестройки параметров работы ГДС, суммарным выражением которых является изменение $K_{пр}$, есть не что иное, как адаптивный сдвиг системы к новым условиям функционирования. Нам удалось получить и прямое подтверждение данного вывода. В нескольких дополнительных опытах с $K_{обр} = -2.4$ и $K_{обр} = -3.5$ были зарегистрированы движения глаз при смене точек фиксации сразу же после окончания основного эксперимента, после удаления оптической системы. Если ГДС не изменила свои параметры, то мы должны были получить фиксационный поворот, состоящий из одной саккады. Однако полученные записи (рисунок 3.8) показывают, что фиксационный поворот состоит в этом случае из двух-трех, а иногда из четырех однонаправленных саккад, что отражает последействие — уменьшение $K_{пр}$. Следовательно, можно утверждать, что ГДС не явля-

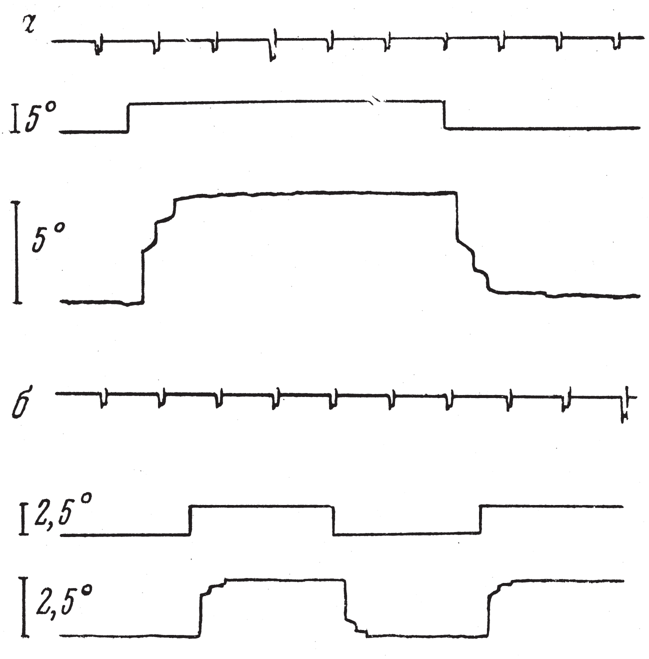


Рис. 3.8. Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) при смене точек фиксации, сделанные сразу после 10-минутного опыта с $K_{обр} = -2.4$ (*а*) и $K_{обр} = -3.5$ (*б*). *Вверху* — стимул

ется системой с постоянными внутренними параметрами и может перестраивать, адаптировать их к изменившимся условиям.

Вероятно, наиболее интенсивный процесс адаптации при $K_{обр} < -1$ связан с тем, что режим «перерегулирования» с последующим изменением направления движения глаз вообще не свойствен ГДС, а также тем, что уменьшение $K_{пр}$ является более простым процессом, чем его увеличение. В первом случае достаточно просто притормозить или загрубить какой-то этап перекодирования зрительной стимуляции в моторную команду, а во втором — необходимо изыскать пути для усиления этого процесса.

Режим «недорегулирования» ($K_{обр} > -1$) не требует экстренной перестройки еще и потому, что такая форма глазодвигательного ответа встречается и в естественных условиях, при созревании глазодвигательной системы в онтогенезе (Сергиенко, 2006), при фиксационных поворотах на угол более 10–15° (Гуревич, 1971; Becker, 1976). Это не означает, однако, что адаптация здесь вообще невозможна — и опыт онтогенетического развития, и сдвиги $K_{пр}$ в направлении к оптимальному значению, зафиксированные в нашем эксперименте, говорят, что такая перестройка возможна, но она должна быть более длительной.

Следует также более подробно остановиться на фактах появления выраженных плавных движений глаз в процессе фиксационного поворота, которые вносят значительный вклад в уменьшение позиционной ошибки глаза относительно целевого объекта. Эти данные свидетельствуют против допущения о существовании особого эффективного стимула для плавных движений глаз, так как плавные движения возникают здесь при фиксации неподвижного объекта. Наряду с этим наличие плавных движений глаз, следующих сразу же после саккады и направленных именно в ту сторону, где находится целевой объект, позволяет предположить, что сигнал зрительной обратной связи непрерывно учитывается ГДС, а время «чистой» задержки меньше времени осуществления саккады. Зрительная обратная связь и является, по-видимому, тем механизмом, который запускает и регулирует процесс адаптивной перестройки параметров ГДС.

В противном случае адаптацию ГДС можно было бы попытаться объяснить, как это делает, например, Дж. Фоссиус, через гипотетический центральный механизм, оценивающий те позиционные ошибки глаз, которые возникают в процессе фиксационного поворота, и вводящий соответствующие поправки в Кпр. Для такого

механизма решающее значение должна играть только абсолютная величина ошибки. Наши же результаты показывают, что два режима — «перерегулирования» и «недорегулирования», в процессе которых возникали сходные по величине позиционные ошибки глаза, — резко отличаются друг от друга по динамике процесса адаптации ГДС. Таким образом, гипотеза о существовании центрального механизма, вычисляющего величину изменения параметров ГДС не нашла своего подтверждения..

3.4. Дисметрия саккад и константность восприятия зрительного направления

Остановимся теперь на субъективных переживаниях, связанных с позиционной динамикой объекта фиксации, который, напомним, представлял собой предъявляемую в полной темноте световую точку, скачком перемещавшуюся взад и вперед по горизонтали. Нас интересовало, будут ли видны смещения точки во время совершения фиксационного поворота, когда цель оставалась объективно неподвижной, а каждая из входящих в состав фиксационного поворота саккад характеризовалась дисметрией, или систематической позиционной ошибкой, т.е. совершалась либо с перелетом ($K_{обр} < -1$), либо с недолетом ($K_{обр} > -1$).

Хотя теория компенсации прогнозирует, что в этой ситуации любая саккада (может быть за исключением самой маленькой из фиксационного поворота), должна привести к нарушению визуальной стабильности внешних объектов, на самом деле этот прогноз подтвердился лишь частично.

Можно выделить две группы наблюдений, полученных от наших испытуемых в этих экспериментах. Последовательное, с «недорегулированием», приближение глаза к точке фиксации не вызывало ощущения нестабильности и наблюдатель, вопреки возникающему рассогласованию, переживал стабильную фиксацию внимания на новой позиции цели во время всего цикла глазодвигательного поворота. Напротив, режим «перерегулирования с затуханием», когда саккады «перескакивали» через точку фиксации, приводил к ощущению нестабильности световой точки в форме ее колебаний относительно новой позиции фокуса внимания. Стоит отметить, что заме-

чались только достаточно большие (>1.0°) рассогласования между позицией глаза и цели, так что количество саккад в повороте всегда превышало число замеченных колебаний световой точки.

Напомним, что описанные выше наблюдения относятся к фиксационным поворотам, осуществлявшимся в полной темноте при наличии единственной святящейся точки в поле зрения. Значительный интерес представляет ситуация, когда наблюдатель, ГДС которого работает в режиме измененной по величине зрительной обратной связи, должен решать перцептивные задачи в условиях естественного, а не обедненного, зрительного окружения. Было важно посмотреть, повлияют ли условия решения зрительной задачи на те устойчивые параметры фиксационного поворота, которые были получены при непроизвольных фиксациях, а также на сопровождающие их (при Кобр < −1) эффекты пространственной нестабильности.

Методика. Изображения предъявлялись с помощью автоматического проектора на экран, находившийся на расстоянии 2 м от испытуемого. Смена кадров производилась экспериментатором после получения ответа о решении поставленной задачи. В описанных ниже опытах приняли участие шестеро испытуемых, трое из которых участвовали ранее в экспериментах с изменением величины зрительной обратной связи. Длительность каждого опыта была ограничена 1 мин во избежание наступления эффекта адаптации.

Результаты. Прежде всего мы предложили испытуемым простейшую задачу — свободное рассматривание сюжетного изображения (Исакиевский собор в Санкт-Петербурге). Необходимо сразу отметить, что несмотря на изменение величины зрительной обратной связи в диапазоне от $K_{обр} = -0.5$ до $K_{обр} = -2.4$ испытуемые не усматривали различий этих условий с обычными условиями рассматривания — по крайней мере на вопрос экспериментатора о том, возникали ли в процессе рассматривания какие-либо трудности или необычные зрительные эффекты, они всегда отвечали отрицательно.

Записи движений глаза при $K_{обр} = -1.8$, $K_{обр} = -0.5$ и $K_{обр} = -1$ приведены на рисунке 3.9. На них практически отсутствуют те закономерности фиксационных поворотов, которые были обнаружены при непроизвольных фиксациях световой точки в темноте. Только в очень редких случаях можно найти две-три последовательных саккады, по направлению и амплитудам которых можно сказать, что они относятся к одному фиксационному повороту. Все остальные саккады, по всей вероятности, должны быть интерпретированы как отдельные фиксационные повороты.

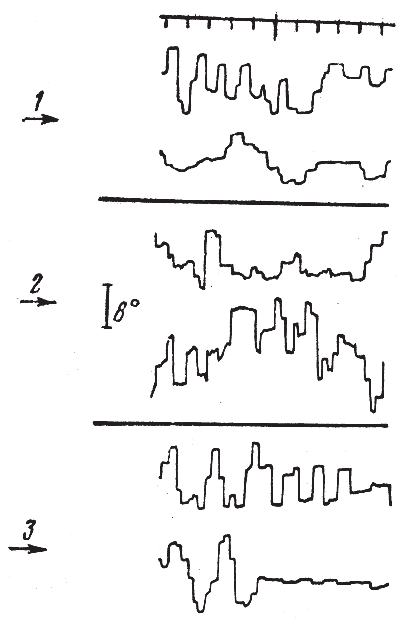


Рис. 3.9. Записи горизонтальной (*вверху*) и вертикальной (*внизу*) составляющих движений глаз при свободном рассматривании сюжетного изображения:
(1) $K_{обр} = -1$; *(2)* $K_{обр} = -1.8$; *(3)* $K_{обр} = -0.5$

Сохранится ли этот характер фиксационных поворотов глаз при еще большем увеличении $K_{обр}$ до –2.4?

Ответ на этот вопрос дает рисунок 3.10. Мы видим, что на протяжении первых 20 с рассматривания можно обнаружить только 2–3 фиксационных поворота, состояших из 2 саккад, остальные же состояли из 1 саккады,. Последующие 30 с рассматривания количество эпох глазодвигательной активности, состоящих из серии возвратно-поступательных саккад, постепенно нарастало, что свидетельствует о переформулировке испытуемым задачи общей ориентировки на задачу более детального обследования изображения с фиксацией на отдельных объектах и деталях.

Чтобы убедиться, что сама по себе оптическая структура не влияет на параметры фиксационных поворотов глаз, мы указывали испытуемым две маленькие детали изображения и предлагали фиксировать их попеременно. Движения глаз при этом мало отличались от тех,

которые возникали при поворотах на светящуюся точку в темноте (см. последний фрагмент записи на рисунке 3.10, когда выполнялась задача последовательной фиксации крайних колонн портика Исакиевского собора). Отсюда ясно, что сама по себе оптическая структура не влияет существенно на характер фиксационных поворотов.

Как же в этом случае отнестись к фиксационным поворотам, состоящим, несмотря на изменение величины зрительной обратной связи, из одной саккады? Ведь такая саккада не может быть точной — ее ошибка как при $K_{обр} = -1.8$, так и при $K_{обр} = -0.5$ составляет не менее 30% от ее амплитуды, а при . $K_{обр} = -2.4$ — порядка 50% (см. рисунки 3.3 и 3.4). По-видимому, даже такая неточная саккада оказывалась достаточно эффективной с точки зрения решаемой задачи, а далее выбирался новый объект фиксации, на который и была направлена следующая саккада. Если принять расчетную величину позиционной ощибки, при которой заканчивается один фиксационный поворот и начинается новый, за меру(радиус) функционального поля зрения, то мы получим инструмент для определения динамики функционального поля зрения в процессе решения перцептивных и когнитивных задач. Для задачи свободного рассматривания результаты этого расчета приведены внизу на рисунке 3.10. Степень зашумленности кругов, отображающих моментальный размер функционального поля зрения, показывает напряженность тех или иных фиксаций: светлый кружок — отсутствие коррекционных саккад в фиксационном повороте, точечная заливка — 1 коррекционная саккада, сплошная заливка — 2–3 коррекционные саккады.

Аналогичный результат был получен и при задаче чтения текста. Процесс чтения однозначно задает направление движения взора вдоль строки, и движения глаз как при $K_{обр} = -0.5$, так и при $K_{обр} = -1.8$ строго соответствовали этому направлению (рисунок 3.11). Единственно, на что влияет изменение зрительной обратной связи — это темп чтения: при $K_{обр} = -1.8$ он несколько ускорен по сравнению с обычной скоростью чтения данного испытуемого, а при $K_{обр} = -0.5$ замедлен. Это становится понятным, если вспомнить, что при $K_{обр} = -1.8$ глаз работает с перерегулированием и объем информации, которую приходится считывать за одну фиксацию, увеличивается. При $K_{обр} = -0.5$ этот объем уменьшается, так как глаз не доходит до той точки, на которую был направлен взор.

Сходные записи получены и при выполнении задачи прослеживания взором линии (рисунок 3.12). При $K_{обр} = -1.8$ саккады однона-

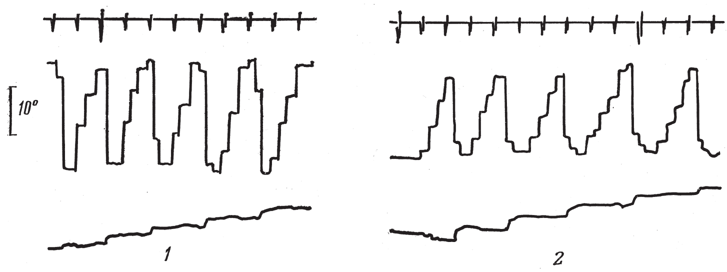


Рис. 3.11. Записи движений глаз при чтении текста. *Вверху* — записи горизонтальной составляющей движений глаз, *внизу* — записи вертикальной составляющей движений глаз:
(*1*) $K_{обр} = -1.8$, (*2*) $K_{обр} = -0.5$

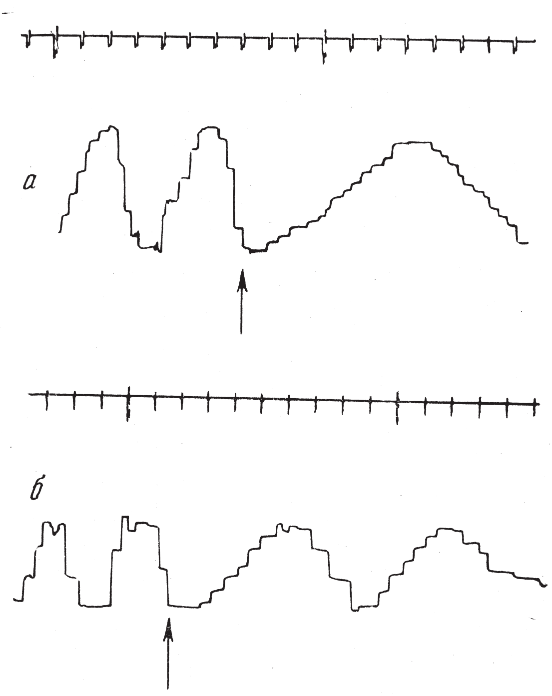


Рис. 3.12. Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) при выполнении задачи прослеживания взором по линии. Стрелкой обозначен момент подачи команды прослеживать как можно медленнее:
(*а*) $K_{обр} = -0.5$; (*б*) $K_{обр} = -1.8$

правлены и имеют большую амплитуду, чем при $K_{обр} = -0.5$. В ответ на команду «замедлить темп прослеживания» амплитуды саккад в обоих случаях уменьшились, но их отношение друг к другу осталось прежним.

Наиболее интересные записи были получены при задаче поиска фигуры — восьмисегментной звездочки с заданным индексом — среди других аналогичных фигур ($K_{обр} = -2.4$), размещенных случайным образом в матрице 30°x 30°. Образец стимульного материала изображен на рисунке 3.13*а*. Индекс фигуры указывался точкой в одном из сегментов. Фигура ✳ получала индекс 1, ✳ — 2 и т. д. по часовой стрелке до 8. Предъявляли два типа стимульных матриц — с большими (4°) и малыми (1°) фигурами.

Решение данной задачи включало последовательность фиксационных поворотов, каждый из которых был направлен к одной из фигур. Однако точность фиксационных поворотов и, соответственно, их длительность не была одинаковой для всех фигур — она зависела как от размера фигур (для малых поворот состоял в среднем из трех-четырех саккад, для больших — из одной-двух),, так и от близости искомого индекса к индексу рассматриваемой в данный момент фигуры, т.е. определялись перцептивной сложностью опознания (рисунок 3.13*б, в)*.

Обращаясь к субъективным переживаниям наших испытуемых, связанных с возможным нарушением стабильности в процессе рассматривания структурированных изображений в условиях измененной по величине оптической обратной связи, надо отметить следующее. Никто из испытуемых ни самостоятельно, ни после наводящих вопросов, не сообщал о какихто необычных пространственных эффектах, связанных с движениями глаз. Это относится как условиям с (Кобр < –1), так и к условиям с (Кобр > –1). Даже в тех случаях, когда при Кобр = –2.4 испытуемых просили совершать точные фиксации между двумя небольшими фрагментами изображения и записи движений глаз показывали тот режим перерегулирования с постепенным затуханием, что и для светящейся точки в темноте, ощущений неестественного смещения изображения не возникало. Таким образом, несмотря на идентичные изменения параметров в контуре сенсомоторного регулирования, выявились принципиальные различия между перцептивными феноменами с единичным источником света в темноте и восприятием структурированного зрительного окружения.

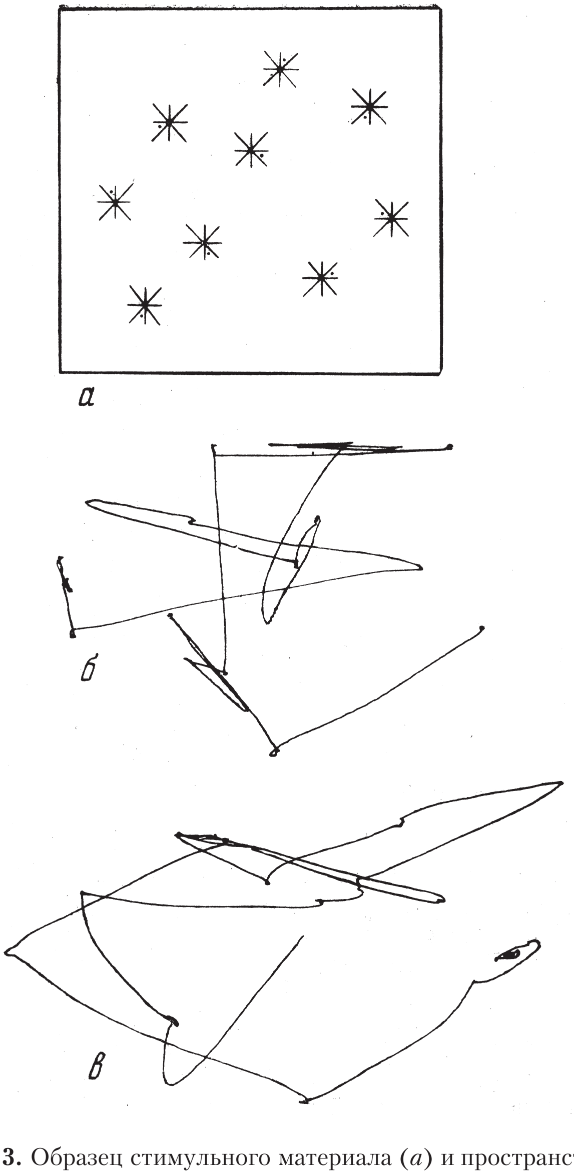


Рис 3.13. Образец стимульного материала (*а*) и пространственная развертка движений глаз при поиске на данной матрице фигуры с индексом «5» среди малых (1°) фигур (*б*) и при поиске фигуры с индексом «3» среди больших (4°) фигур (*в*). $K_{обр} = -2.4$

Заключение

Таким образом, полученные результаты показывают, что работа ГДС по точному наведению фовеальной области сетчатки на объект фиксации, являющаяся ее основной биологической функцией, действительно, находится под контролем функциональной системы более высокого порядка, а именно: зрительно-гностической системы, определяющей динамику смены объектов фиксации в соответствии с требованиями задачи и ходом ее решения. Ведущая роль перцептивного процесса по отношению к фиксационному повороту; глаз проявляется, прежде всего, во влиянии операциональных и пространственных характеристик продуктивного акта восприятия на точность фиксационного поворота, а также в том, что завершение акта восприятия приводит к окончанию данного поворота безотносительно к тому, куда направлена в данный момент фовеальная область сетчатки.

Эти результаты позволяют представить структуру перцептивно-моторных отношений в зрительной системе человека в самом общем виде следующим образом. Среди всего поля стимуляции, поступающей на сетчатку глаза, зрительная система отбирает и выделяет лишь ту ее часть, которая представляет повышенный актуальный интерес. Пространственные координаты этой части стимуляции (деталь изображения, зона) определяют границы функционального поля зрения и становятся объектом регулирования для ГДС, а сетчаточная проекция данного объекта относительно фовеа — эффективным стимулом, запускающим фиксационный поворот глаз. Поскольку частота движений глаз должна быть не реже трех в 1 с, чтобы предотвратить угасание зрительного ощущения (Зинченко, Вергилес, 1969), а сам акт восприятия может длиться и дольше, чем 300 мс, то в таком случае фовеализация объекта фиксаций сможет создать наиболее благоприятные условия для его различения и опознания. Однако, по-видимому, фовеализация объекта фиксации не является решающим условием для его адекватного восприятия, как это явствует из результатов эксперимента, где зрительные задачи успешно решались при систематической ошибке наведения глаз.

Резюмируя, следует подчеркнуть, что использование тонкой экспериментальной техники, модифицирующей некоторые естественные зрительно-моторные связи, но оставляющей наблюдателю возможность целенаправленного функционирования в обычной обстановке, позволило получить ряд фактов, свидетельствующих,

что: а) даже выраженный дисбаланс в окуломоторной координации не связан жестким образом с появлением ощущения зрительной нестабильности; б) в условиях обедненной визуальной системы отсчета ощущение зрительной нестабильности зависит от направления аномального сетчаточного смещения фиксируемой цели; и в) предъявление целостной зрительной сцены облегчает восприятие ее стабильности. В целом, эти данные отрицают необходимость механизма компенсации сетчаточных последствий собственных движений наблюдателя для сохранения стабильности видимого мира.

Глава 4. СТАБИЛЬНОСТЬ ВИДИМОГО МИРА ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ

4.1. Размер поля зрения и процесс интеграции пространственной информации

Движения наблюдателя, в частности движения самой реципирующей поверхности глаза, создают условия, при которых сенсорные данные не могут быть однозначно использованы зрительной системой для объективной оценки пространственно-динамических свойств внешних объектов: движения, неподвижности и локализации.

На этот факт, составляющий содержание проблемы стабильности, или, шире, инвариантности, видимого мира, впервые указал Г. Гельмгольц (Helmholtz, 1866), который также предложил возможное решение этой проблемы, состоящее в «принятии в расчет» окуломоторной информации о положении глаз в орбитах. Гипотеза Г. Гельмгольца, дополненная конкретным механизмом взаимодействия сетчаточного и окуломоторного сигналов, а именно их компарацией, или алгебраическим сложением, получила название эфферентной теории компенсации и разделяется большинством современных исследователей (Гордеева и др,, 1972; Милсум, 1968; Шахнович, 1974; Gregory, 1958; MakKay, 1973; Holst, 1950; Matin et al., 1969; Sperry, 1950). Она удовлетворительно объясняет основные феномены стабильности восприятия, однако ее экспериментальная проверка, основанная на тестировании параметров гипотетического эфферентного сигнала, сталкивается с определенными трудностями.

Один из возможных подходов состоит в сравнении параметров сетчаточного и эфферентного сигналов, так как, согласно механизму компенсации, только точное их соответствие может обеспечить стабильное восприятие в процессе движений глаз. В частности, было

доказано, что в отсутствии полной и даже частичной сетчаточной информации иллюзии восприятия — искажение траектории движения световой точки (Поддъяков и др., 1971; Coren et al., 1960; Festinger, Easton, 1974), недооценка длины пути (Mack, Herman, 1972), скорости (Юнг, 1969; Cohen, 1964; Fleische, 1882; Sirigatti, 1934) и ошибочная локализация (Festinger, Canon, 1965; Rock, Halper, 1969) — возникали только при плавном прослеживании, тогда как при саккадических движениях глаз они были значительно меньше или отсутствовали полностью. Отсюда некоторые исследователи делают вывод, что эфферентный сигнал при плавных движениях, в отличие от саккадических, не является достаточно точным и адекватным реальному повороту глаз и не способен полностью компенсировать вызванное этим поворотом перемещение сетчаточного изображения (Гиппенрейтер, 1978; Гордеева и др., 1972; Зысин, 1970; Карпов, Карпова, 1974; Лаурингсон, Щедровицкий, 1965; Шахнович, 1974; Rashbass, 1961; Skavenski, 1972; Stark, 1968). Действительно, стабильное восприятие видимого мира сохраняется лишь при саккадическом сканировании неподвижного окружения и нарушается при плавном прослеживании объекта, движущегося на фоне неподвижной структуры (иллюзия Филене; см. Filehne, 1922; Gregory, 1958; Mack, Herman. 1972).

Другой путь проверки теории компенсации состоит в изменении параметров сенсорного входа, которое оставляло бы без изменений соотношение движений глаз и их сетчаточных коррелятов. Примеры вариабельности впечатлений при рассматривании изображений с различным статистическим распределением «зрительного шума» приводит Д. М. Маккей (MacKay, 1973). Особенно важными в данном контексте представляются результаты, полученные при значительном (до 1–5°) ограничении области сетчатки, на которую могла поступать визуальная стимуляция (Андреева и др, 1972). Испытуемые решали в этих условиях задачи опознания контурных, силуэтных и точечных изображений и др., точно воспроизводя пространственные характеристики фигуры посредством саккадических или плавных движений глаз, и в обоих случаях были обнаружены иллюзии, аналогичные тем, которые считались атрибутом только плавных движений глаз. Совсем недавно эти результаты были подтверждены Г. Магнуски и Д. Лаем, которые использовали принципиально иной метод ограничения поля зрения (Magnuski, Lai, 1975).

Зарегистрированное в этих экспериментах искажение пространственных пропорций сканируемого изображения не может быть сведено к работе механизма компенсации. Однако предполо-

жение о снижении точности эфферентного сигнала при сужении поля зрения основано на косвенных оценках и нуждается в дополнительной проверке. Возможно и другое объяснение данных иллюзий. Оно базируется на том, что иллюзии возникают только при развернутой моторной активности, как феномен интеграции многократно повторяющихся эфферентных посылок. В том же случае, когда пространственные оценки даются на основании единичной реакции, т.е. после саккады, соизмеримой с размерами цели, подобных иллюзий не возникает.

Таким образом, условия искусственного ограничения размеров поля зрения создают ситуацию, которая позволяет проверить некоторые следствия теории компенсации. Критическим для этой теории явился бы факт нарушения стабильности восприятия при саккадах, тогда как сохранение стабильности в данных условиях переносило бы центр проблемы на процесс пространственно-временной интеграции отдельных актов сенсо-моторного взаимодействия. Следовательно, первая *задача* состоит в том, чтобы исследовать, как воспринимаются неподвижные объекты при ограничении поля зрения.

4.2. Фиксационные повороты при узком поле зрения

Ограничение поля зрения достигалось при помощи центральной глазной присоски, на которой крепился цилиндрический тубус с отверстиями в обеих торцевых заслонках (рисунок 4.1). Диаметр видимого участка поля зрения не менялся в эксперименте и был равен 5°. Движения глаз регистрировали электромагнитным методом.

Второй глаз испытуемого закрывали светонепроницаемой повязкой, а голову фиксировали в подбороднике. Контрастные изображения предъявлялись на ярко освещенном белом экране, расположенном на расстоянии 30 см от глаза.

Более подробно использованные приспособления и метод регистрации движений глаз описаны в исследовании Е. А. Андреевой с соавт. (Андреева и др., 1972).

Процедура эксперимента включала прежде всего калибровку движений глаз. Затем испытуемый последовательно фиксировал две

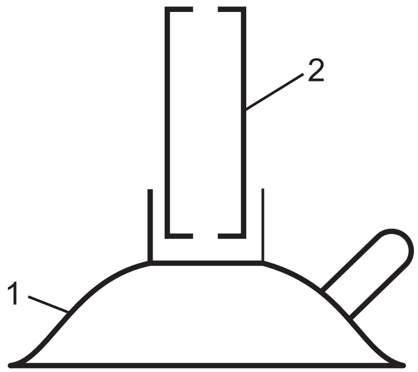


Рис. 4.1. Схематическое изображение глазной присоски с тубусом для ограничения размера поля зрения:
1 — корпус металлической присоски с резиновым баллончиком для отсоса воздуха; 2 — циллиндрический тубус с отверстиями на его концах

неподвижные черные точки, расположенные на экране. Расстояние между точками варьировали от 1° до 2.5° ступенями через 0.5°. Одновременно испытуемого просили сообщать о том, воспринимается ли движение элементов в поле зрения или они неподвижны.

В эксперименте участвовали четверо испытуемых (мужчины в возрасте 25–30 лет), имевших навык работы с глазными присосками.

Результаты и обсуждение

Попытки перевести взор с точки на точку вызывали обычную саккадическую оптомоторную реакцию. Амплитуда скачка почти точно соответствовала величине расстояния между точками (рисунок 4.2).

При описании своего восприятия испытуемые сталкивались с определенными трудностями, связанными с необычностью самой задачи и возникающих перцептивных эффектов. Требовалась некоторая практика (иногда 10–20 саккад), чтобы сделать какое-нибудь заключение о характере восприятия. Однако в конце опыта испытуемые уже уверенно сообщали о своем впечатлении.

Это впечатление, вопреки ожиданиям, не было всегда одним и тем же и находилось в тесной зависимости от расстояния между точками. При малых расстояниях (1.0–1.5°) испытуемые обычно

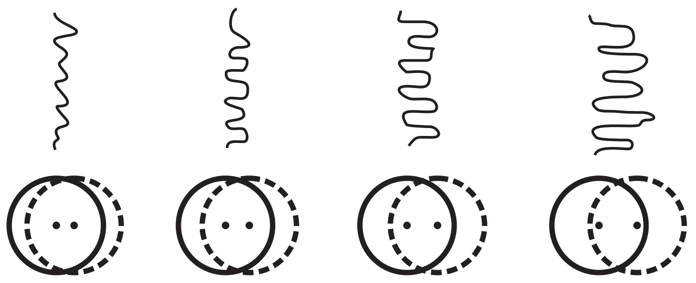


Рис. 4.2. Записи движений глаз при смене точек фиксации (*вверху*) и соответствующие им схемы изменений стимульных условий (*внизу*):

(а) скачки на 1.0°; *(б)* на 1.5°; *(в)* на 2.0°; *(г)* на 2.5°. Сплошной линией обозначены границы поля зрения при фиксации левой точки, штриховой — при фиксации правой точки

воспринимали точки как неподвижные, при этом ясно ощущалось перемещение взора с одной точки на другую. Когда же это расстояние было больше (2.0–2.5°), наблюдалось резкое смещение изображения двух точек. Парадоксальность такого впечатления состоит в том, что испытуемые, отдавая себе отчет о направлении, в котором они хотели перевести взор, субъективно не ощущали реального перемещения глаз в пространстве.

Возможность перехода от стабильного восприятия неподвижного объекта к нестабильному при произвольной смене точки фиксации ставит под сомнение основной постулат теории компенсации — необходимость и достаточность окуломоторной информации для построения адекватного пространственного образа. Действительно, уменьшение размеров поля зрения не влияет ни на сетчаточную, ни на эфферентную информацию о движении глаза, однако эффективность последней оказывается в зависимости от амплитуды саккады. Необходимо также отметить, что результирующее впечатление строится по дизъюнктивному принципу (или — или), без промежуточных состояний, т.е., если следовать схеме теории компенсации, эфферентный сигнал то учитывается, то игнорируется.

В то же время сама возможность изменять способ восприятия, т.е. переходить от стабильного восприятия к нестабильному, открывает пути для анализа механизма зрительной стабильности, обходя-

щегося без привлечения окуломоторной информации. Прежде всего, необходимо указать характерную особенность стимульной ситуации, имевшей место в эксперименте,— наличие видимых границ поля зрения, которые не меняют своего положения на сетчатке. Поэтому поворот глаза приводил не только к смещению сетчаточной проекции точек, но и к изменению их позиции относительно этих границ. Отчеты испытуемых показывают, что, по всей вероятности, именно отношение стимульных событий к границам поля зрения является тем фактором, от которого зависит способ восприятия.

При незначительных изменениях положения точек внутри поля зрения сообщалось прежде всего об их стабильности, и очень трудно было получить информацию о поведении всего поля зрения. Если эти изменения были несколько больше, то в отдельных случаях стимульная структура могла восприниматься целиком и испытуемые описывали стабильное восприятие как одновременное движение взора и границ поля зрения относительно неподвижных точек. Когда же изменения стимульной структуры, вызванные поворотом глаза, были максимальны, то всегда воспринималось перемещение точек внутри неподвижных границ поля зрения.

Из этих наблюдений можно заключить, что размеры воспринимаемого пространства не всегда были ограничены актуальной визуальной стимуляцией — стабильное восприятие сопровождалось разверткой пространственного образа, выходящего за пределы зоны сетчаточной афферентации (рисунок 4.3а). Важнейшим условием такого восприятия являлось игнорирование границ поля зрения или идентификации их с движением взора. Для нестабильного восприятия характерна опора на всю зрительную структуру, в которой доминируют границы

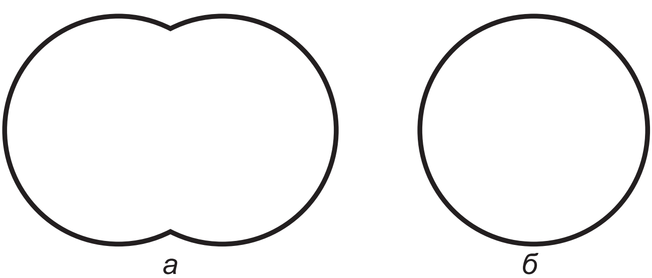


Рис. 4.3. Относительные размеры воспринимаемого пространства при стабильном (*а*) и нестабильном (*б*) восприятии

поля зрения, в силу чего воспринимаемое пространство совпадает по размеру с зоной сетчаточной афферентации (рисунок 4.3б).

Дополнением к этому выводу служит наблюдение, которое было сделано одним из испытуемых, а затем — при повторении эксперимента со специальной инструкцией обращать внимание на относительную удаленность светлого поля (экрана) и границ зрения — было подтверждено другими. Оно заключается в том, что при стабильном восприятии экран локализовался дальше от наблюдателя и воспринимался продолжающимся за границы поля зрения, тогда как при нестабильном восприятии казалось, что они расположены в одной плоскости — видимые границы представлялись как бы неподвижной рамой экрана.

Итак, результаты эксперимента показывают, что изменение сетчаточной проекции объекта, вызванное движением глаз, может быть интерпретировано зрительной системой в двух различных системах координат: в координатах сетчатки, если эти изменения соизмеримы с величиной поля зрения, или в координатах внешнего пространства, если эти изменения малы.

Ряд авторов также указывают на возможность при определенных условиях воспринимать объекты внешнего мира так, как они представлены на сетчатке, вне зависимости от движения глаз. Такое восприятие Дж. Гибсон обозначает как восприятие «видимого поля» (Gibson, 1950), а А. Н. Леонтьев с коллегами — как восприятие «чувственной ткани» зрительного сознательного образа (Леонтьев, 1972, 1977; Логвиненко, Столин, 1973), в отличии от существующего в обычных условиях восприятия «видимого мира» или «предметного содержания».

Произвольно перейти от предметного к непредметному видению почти невозможно. Лишь частично, и то после значительной тренировки, этого можно достичь, фиксируя взор в одной точке пространства и сосредоточиваясь на контрастах и цветовых плоскостях (Gibson, 1950). Проще добиться этого искусственным путем, лишив человека притока сенсорной информации или исказив с помощью специальных оптических приборов направление световых лучей от объекта к глазу (Held, 1961). После нескольких часов нахождения человека в таких условиях он теряет ощущение реальности, мир представляется ему неустойчивым, часто воспринимается лишь хаос цветовых пятен, следующих за движением взора, т.е. нарушается стабильность восприятия.

Еще одним критерием предметности восприятия может служить константность размера и формы, их независимость от удаленности объекта от наблюдателя (Логвиненко, Столин, 1973). Неоднократно

отмечалось, однако, что редукция поля зрения, которая использовалась и в нашем эксперименте, ведет к падению константности, увеличивает тенденцию к восприятию изменений сетчаточного изображения (Holway, Boring, 1941).

Следовательно, можно провести определенную аналогию между восприятием видимого поля и видимого мира, или чувственной ткани и предметного содержания, и полученным в нашем эксперименте фактом перехода от стабильного к нестабильному способу восприятия.

Отсюда возникла идея, что если «опредметить» изображения, воспринимаемые узким полем, ввести в них дополнительные структурные и смысловые ориентиры, то можно получить стабильное восприятие даже при максимальных скачках глаз.

4.3. Рассматривание сюжетного изображения при узком поле зрения

Для проверки этого предположения была проведена серия экспериментов с теми же испытуемыми. В каждом из опытов испытуемые рассматривали в условиях ограничения поля зрения одну из трех фигур, приведенных на рисунке 4. Задача испытуемых состояла в том, чтобы попытаться опознать изображенные на рисунках фигуры, обращая особенное внимание на пространственные эффекты, и, прежде всего, на нарушение стабильности восприятия.



Рис. 4.4. Тестовые фигуры. Кружками обозначены относительные размеры поля зрения

Результаты и обсуждение

Когда испытуемым предъявляли оптический паттерн, заполняющий контурное изображение ели (рисунок 4.4а), фигура как таковая не воспринималась. Ее отдельные части или элементы сменяли друг друга случайным образом, локализуясь в одном и том же месте пространства, а именно — внутри неподвижных границ поля зрения, хотя движения глаз охватывали всю площадь фигуры. Испытуемые не могли с уверенностью сказать, к какому квадранту изображения относится видимая ими деталь, для них было неожиданностью, когда в поле зрения оказывалась граница фигуры. Таким образом, налицо типичная картина нестабильного восприятия.

Для первых 30 с рассматривания были подсчитаны амплитуды отдельных скачков, включенных в траекторию движений глаз. Полученные данные, взятые в процентном отношении скачков определенной амплитуды к общему количеству скачков, приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что для данной фигуры 75% всех скачков имеют амплитуду более 1.5°, т.е. превышают ту величину, которая необходима для возникновения стабильного восприятия.

При рассматривании стилизованного изображения лица (рисунок 4*б*), восприятие также было нестабильным, а большая часть всех скачков (68%) имела амплитуду, превышающую 1.5°. Однако после 30–60 с рассматривания этой фигуры, двое из четырех испытуемых догадались по некоторым характерным элементам о содержании предъявленной фигуры. Сразу после этого воспринимаемое изображение стабилизировалось, испытуемые стали воспринимать уже не разрозненные, не связанные между собой элементы, а фрагменты

Таблица 1

Распределение амплитуд скачков при просмотре тестовых фигур, % к общему количеству скачков за первые 30 с

Тестовые фигуры		Амплитуда, %			
		от 0° до 1.0°	от 1.0° до 1.5°	от 1.5° до 2.0°	от 2.0° до 2.5°
Ель		4	21	27	48
Лицо	До опознания	2	30	32	36
	После опознания	8	22	28	42
Дом		12	28	35	25

лица. Пространственные отношения между этими фрагментами оценивались довольно хорошо — например, испытуемые могли сказать, в какой квадрант фигуры смотрят в данный момент, какая деталь должна находиться в том или ином направлении от точки фиксации, за границами видимого участка. Такой же эффект был получен и у оставшихся испытуемых после того, как им разрешили взглянуть на фигуру свободным глазом.

Важно отметить, что изменение способа восприятия не приводит к изменению амплитудных характеристик движений глаз. И после опознания фигуры в траектории осмотра превалировали скачки, амплитуда которых превышала 1.5° (60%).

Аналогичная картина имела место и при предъявлении фигуры дома (рисунок 4*в*), которую все испытуемые быстро опознали сами, и их восприятие сразу стало стабильным.

Чтобы оценить степень точности такого восприятия, мы просили испытуемых сразу после рассматривания нарисовать то, что они видели, сохранив по возможности пропорции и размеры фигуры. Рисунки испытуемых показывают, что они довольно хорошо запомнили основные детали и их взаимное расположение, второстепенные же детали (например, такие, как число окон) часто воспроизводились с ошибками. Все без исключения рисунки были меньше оригинала. Последний факт был проверен следующим образом. В дополнительном опыте двум испытуемым предлагалось обвести глазом контурное изображение квадрата. После трехкратного обведения со второго глаза снималась повязка и предлагалось посмотреть на квадрат. Оба испытуемых отметили, что размеры квадрата значительно (в 1.5–2 раза) превышают размеры того образа, который сформировался у них при обведении квадрата узким полем.

Итак, можно считать доказанным, что тенденция к нестабильному восприятию, существующая при максимально возможных (в условиях ограниченного поля зрения) скачках глаз и обедненной визуальной стимуляции (2 точки), может быть преодолена введением дополнительных визуальных ориентиров, пространственные связи между которыми имеют не просто структурный, а содержательно-смысловой характер. При этом возникает ощущение движения взора по неподвижному изображению, в противовес ощущению движения элементов изображения относительно неподвижной точки взора, существующему при нестабильном восприятии.

Полученные в последнем эксперименте результаты подтверждают гипотезу, что существенным моментом сохранения стабильного

восприятия является объективированность, предметная отнесенность той незначительной визуальной стимуляции которая поступает на сетчатку при ограничении поля зрения. Роль знакомости фигуры как раз и состоит в том, чтобы связать дискретные элементы изображения, половина из которых исчезает из поля зрения после каждого скачка, в целостный образ, простирающийся за видимые границы поля зрения. Именно от него, а не просто от наличия движений глаз, зависит ощущение переноса взора в том или ином направлении, на ту или иную деталь неподвижного изображения.

Однако знакомость (или, точнее, возможность целостного представления фигуры) не может полностью заменить зрительной картины, с которой соотносятся воспринимаемые объекты в естественных условиях рассматривания, что и отражается в иллюзиях сжатия пространственных координат.

Заключение

1. Изменения сетчаточного изображения, вызванные движением глаз, ни сами по себе, ни в сочетании с гипотетическим эфферентным сигналом, не определяют способа восприятия — стабильного или нестабильного.
2. Механизм стабильности видимого мира не требует компенсации изменений сетчаточного изображения, так как стабильное восприятие обязательно сопровождается движением взора относительно неподвижного объекта.
3. По-видимому, основное содержание перцептивного по своей природе механизма стабильности сводится к постоянной проверке того, можно ли отнести данное изменение сетчаточной проекции к движению взора относительно объектов внешнего мира, неподвижность и предметность которых является «нулевой гипотезой» (Mac-Kay, 1983) или «экологическим постулатом» (Gibson, 1973) деятельности зрительной системы.

Глава 5. СТАБИЛЬНОСТЬ ВИДИМОГО МИРА В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НЕЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

5.1. Переживание стабильности и позиционное чувство взора

Адекватная репрезентация среды жизнедеятельности индивида предполагает, прежде всего, различение неподвижности и изменчивости окружающих его объектов. Первичность такого рода восприятия, определяющего пространственный контекст поведения, не вызывает сомнений — ведь более детальная информация о видимом мире, как то форма, удаленность, размер, освещенность, цвет отдельных объектов, их взаимное расположение, а также категориальная и эмоциональная оценка, приобретают поведенческий смысл только в сочетании со зрительным направлением на тот или иной объект. Поскольку экологию человеческого существования составляет неподвижная среда, то она должна восприниматься и воспринимается таковой *вне* зависимости от способа поведенческой активности наблюдателя, а обнаруженное *внутри* неподвижной среды движение служит сигналом об изменениях, имеющих приоритетную биологическую значимость для наблюдателя.

Наивный феноменальный опыт принимает *стабильность видимого мира* как «экологический постулат» (Gibson, 1968), или «нулевую гипотезу» (MakKay, 1972), относя отклоняющиеся от этого «постулата» переживания к разряду *атипичных феноменов*, обусловленных скорее его, наблюдателя, состоянием, а не нарушением привычного порядка вещей. Так, кажущееся движение окружающего мира после длительного вестибулярного воздействия (вращения)

переживается как «головокружение», т. е. приписывается самому наблюдателю и вызывает поведенческую заторможенность. Аналогичным образом и восприятие реального движения целостного окружения, имеющее низкую экологическую валидность, обладает тенденцией к сохранению стабильной внешней системы отсчета, перенося (индуцируя) движение на включенные в визуальный контекст объективно неподвижные объекты (например, на луну, рассматриваемую на фоне движущихся по небу облаков) или на самого наблюдателя (как при рассматривании с середины моста течения широкой реки).

Классическая конкретно-научная постановка проблемы стабильности видимого мира (см. Грегори, 1970; Луук и др., 1977; Bridgeman et al., 1994; Stability and constancy in visual perception , 1977; Wertheim, 1994) связана с признанием факта недостаточности чисто зрительного, сетчаточного сигнала как единственного источника информации о движении воспринимаемых объектов. Действительно, при восприятии движущихся объектов неподвижным глазом результирующий сетчаточный сигнал напоминает тот, который возникает при движении глаза, головы или тела наблюдателя относительно неподвижного зрительного окружения, но если в первом случае воспринимается перемещение объектов, то во втором — их неподвижность.

Важной характеристикой собственной двигательной активности наблюдателя, при которой сохраняется стабильное восприятие внешнего мира, является ее *произвольность*, *целенаправленность*, поскольку *пассивные* перемещения глазного яблока, например, путем постукивания пальцем по веку или при поствращательном нистагме, вызывают ощущение нестабильности. К числу феноменов зрительной стабильности относят также восприятие движения в процессе точного прослеживания глазом зрительной цели или при сканировании стабилизированного относительно сетчатки глаза локального последовательного образа, фосфена или скотомы. Однако при пассивных движениях глаз последовательный образ, фосфен или скотома субъективно не меняют своей пространственной локализации, остаются неподвижными. Наконец, даже интенция к изменению точки фиксации, не подкрепляемая реальным поворотом глаз из-за паралича глазных мышц или механических ограничений окулярной мобильности и, как следствие, не сопровождающаяся смещением сетчаточного изображения, часто приводит к иллюзорному смещению фиксируемого объекта.

В рамках классического подхода эти факты и феномены ведут к постановке вопроса о дополнительном источнике пространствен-

но-динамической информации, связанной с собственными перемещениями наблюдателя, которые приводят к изменению сетчаточной проекции внешних объектов. Другой вопрос состоит в том, каким образом перцептивная система учитывает оба позиционных сигнала (сетчаточный и «экстраретинальный») для достижения адекватного восприятия внешней среды.

При ответе на второй вопрос наибольшее распространение получили модели, использующие идею «компенсации», или «вычитания» сетчаточного сигнала о перемещении другим сигналом, связанным с произвольными движениями глаз. Хотя сенсомоторные схемы типа предложенной Э. фон Хольстом и Х. Миттельштадтом (Holst, Mittelstaedt, 1950) неплохо объясняют основные феномены зрительной стабильности (см рисунок 1.1), они неоднократно подвергались критике по целому ряду позиций.

Во-первых, природа «экстраретинального» сигнала остается до сих пор неясной; варианты ответов включают, с одной стороны, гипотетические «волевое усилие» (Helmholtz, 1866), «чувство иннервации»(Max, 1903), «эфферентную копию» (Holst, Mittelstaedt, 1950), «побочный разряд»(Sperry, 1950), объединяемые часто термином эфферентный (outflow) сигнал, а, с другой, проприоцептивные сигналы от внешних глазных мышц (Сеченов, 1952; Гуревич, 1971; Шеррингтон, 1969; Ludwigh, 1952), или афферентный (inflow) сигнал, существование которого оспаривается в ряде прямых экспериментов (Brindley, Merton, 1960).

Во-вторых, существует временное рассогласование между генерацией гипотетического эфферентного сигнала, предшествующего повороту глаз, и соответствующего реафферентного сетчаточного сигнала, величину которого можно оценить только после завершения этого поворота. Что же касается проприоцептивного позиционного сигнала, то его учет возможен только с определенной задержкой относительно конца поворота глаз, тогда как феноменальная стабильность не допускает каких-либо пауз или разрывов. В-третьих, метрика и система отсчета зрительного и незрительного сигналов, подлежащих алгебраическому сложению или другого рода сопоставлению, исходно не совпадают и должны быть перекодированы (как?) в общую для них (какую?) шкалу измерений (см. Belopolsky, 1994) В-четвертых, такого рода компенсационная модель выдвигает очень жесткие требования к точности обоих сигналов, учитывая высокую чувствительность зрительной системы к обнаружению пространственного смещения воспринимаемых объектов.

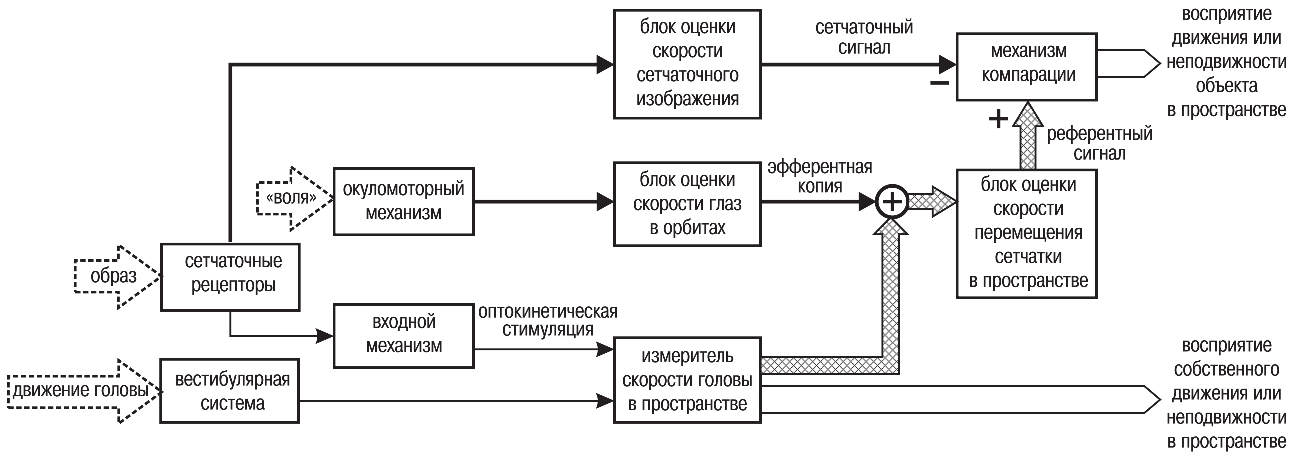


Рис.5.1. Функциональная модель, описывающая процесс генерации референтных сигналов и их взаимосвязь с восприятием эго-движения и движения объекта в пространстве. Толстые линии отражают связи, традиционно включаемые в описания компенсационной модели восприятия движения. Тонкие линии отражают литературные данные о зрительно-вестибулярных взаимодействиях и восприятии эго-движения. Термин «оценка» не содержит когнитивной нагрузки, а только указывает на то, что кодирование скорости сетчаточного изображения, глаза и головы происходит не всегда точно, а обычно с некоторым коэффициентом. Линии с точечной заливкой между сетчаткой и окуломоторным механизмом и между блоком оценки скорости головы в пространстве и окуломоторным механизмом отображают те нервные пути, функцией которых является генерация рефлекторных движений глаз, известных как оптокинетический и вестибулярный нистагм (из работы: Wertheim, 1994).

На некоторые из этих вопросов попытался ответить А. Вертхейм (Wertheim, 1994), который предложил дополнить модель Хольста–Миттельштадта *референтным* сигналом, который бы учитывал не просто скорость перемещения глаза в координатах головы, как это делает эфферентный (экстраретинальный) сигнал, а оценивал бы перемещение глаза относительно внешнего пространства.

К принципиальному недостатку любых моделей зрительной стабильности компенсационного типа (а также моделей, привлекающих механизм «подавления» зрительных ощущений во время саккад (см. Митрани, 1973)) следует отнести то, что искомым результатом оптимальной работы такого рода механизмов является *отсутствие каких либо изменений на выходе системы*, т.е. поддержание «стабильной» репрезентации внешнего мира. Зададимся, однако, вопросом: является ли неподвижность зрительной сцены *единственным* перцептивным эффектом целенаправленного поворота глаз или головы? Существуют ли какие-либо отличия между сценами, воспринимаемыми до и после такого поворота?

В модели А. Вертхейма одним из результатов двигательной активности наблюдателя является переживание самодвижения (реальное или кажущееся, индуцированное), которое, однако, относится только к изменениям ориентации головы. Блок формирования перцептивного результата оценивает информацию о движении головы, глаз и сетчаточного изображения и принимает решение о динамическом статусе воспринимаемого объекта или сцены — движение или стабильность. Таким образом, выход этой модели действительно описывает целый спектр перцептивных событий, сопровождающих восприятие оптокинетического паттерна, а именно, иллюзорное движение наблюдателя относительно неподвижной стимульной структуры, реальное движение этой структуры относительно неподвижного наблюдателя, а также движение прослеживаемого объекта на фоне противоположно направленного движения фонового паттерна при неподвижном наблюдателе (иллюзия Филене). Таким образом, чувство взора связывается прежде всего с движениями головы, но не глаз (рисунок 5.1).

Согласно Дж. Гибсону (1988), следствием изменения ориентации органа зрения в пространстве является смещение видимых лицевых контуров (а также и других частей тела) относительно входящего в глаз оптического потока. Он считает, что специфика регистрируемых при этом трансформаций оптического потока, при которых не происходит изменения внутренней структуры оптического строя,

позволяет интерпретировать их как движение самого наблюдателя, в отличии от другого рода трансформаций с изменением структуры оптического потока, воспринимаемых как внешние события. Следовательно, по Дж. Гибсону, классическая проблема стабильности видимого мира поставлена принципиально неверно: вся необходимая для адекватного восприятия информация содержится в оптическом строе, а результатом поворота глаза, головы или тела является не стабильность как таковая, а *видимое* изменение ориентации наблюдателя относительно неподвижного окружения.

Хотя буквальное следование этому ходу мыслей не всегда справляется с объяснением ряда феноменов и экспериментальных фактов, накопленных при исследовании стабильности видимого мира (см., например, MacKay, 1973; Wertheim, 1994), принципиальная позиция Дж. Гибсона может быть значительно усилена, если привлечь к рассмотрению достаточно тривиальный для наивного наблюдателя факт: *поворот взора всегда связан с изменением переживаемой позиции фокуса внимания относительно неподвижного зрительного пространства*. Человек может назвать рассматриваемый им объект, указать на него рукой и выполнить вербальную или зрительную инструкцию по изменению объекта фиксации. Другими словами, речь идет о том, что зрительный «эгоцентр» определяется не столько по отношению к видимым границам глазных орбит, что характеризует скорее рассеянный, дефокусированный взор и большие скачки глаз, сколько по отношению к объекту или направлению фиксации внимания (взора). Таким образом, любая теория стабильности должна учитывать, что в результате поворота глаз *меняется относительная позиция зрительного эгоцентра в неподвижной внешней системе отсчета*. В терминах теории компенсации это ведет к логическому нонсенсу: экстраретинальный (т.е. незрительный, безотносительно к его природе — Matin, 1972) сигнал о перемещении глаз должен учитываться зрительной системой *дважды*, один раз для компенсации сетчаточной реафферентации, а другой раз — информируя об изменении позиции взора относительно неподвижного окружения.

Поэтому, как справедливо отмечал Дж. Маккей (MacKay, 1973), модельные преставления теории компенсации описывают процессы, происходящие скорее на уровне сенсо-моторного управления взором, тогда как решение проблемы зрительной стабильности, по его мнению, лежит на перцептивном уровне и не требует привлечения механизмов компенсации или подавления сенсорных эффектов движений глаз. Он предложил гипотезу «оценивания», согласно которой дви-

жения глаз лишь ставят перед перцептивной системой вопрос, а ответ дается на основе сопоставления ожидаемых и фактических перцептивных событий. Достаточно близко к этой позиции находится точка зрения Б. Бриджмена, А. ван дер Хейдена и Б.М. Величковского (Bridgeman et al., 1994) , которые предложили механизм «калибровки»: точная пространственная топика зрительных направлений пересчитывается заново для каждой фиксации глаза.

Нелишне здесь напомнить и представления Э. Геринга (Hering, 1879), который различал два вида пространственных локализаций: абсолютную и относительную. Описывая пространственные перцептивные эффекты, связанные со скачками глаз, он начинает с процесса инициации этих скачков, состоящего в *опережающей* фокусировке внимания на интересующем новом объекте. При этом абсолютные пространственные координаты сетчатки меняются в соответствии с изменившимся местоположением фокуса сознания и внимания *еще до того, как начинается быстрое движение глаз*, а направленное на выбранный объект движение глаз ведет к эквивалентному, но противоположному по знаку относительному локализационному сдвигу. Отсутствие кажущихся смещений и изменений в расположении объектов в поле зрения во время скачков глаз Э. Геринг объясняет компенсацией сдвига их относительных локализаций опережающим сдвигом абсолютного значения их локализаций. Последнее, на наш взгляд, не является единственным возможным и необходимым решением; в качестве примера можно указать на теории зрительной стабильности, использующие идею транссаккадической интеграции пространственной информации (Irwin et al., 1994; McConkie, Currie, 1996; Pollatsek, Rayner, 1992).

Идею «дополнительности» переживаний зрительной стабильности и эгоцентрической позиции взора можно проиллюстрировать нашими экспериментами, проведенными с использованием техники ограничения размера эффективного поля зрения (Белопольский, 1978б). В этих условиях при выполнении произвольных саккад относительно физически неподвижных объектов (что традиционно считается основным условием сохранения стабильного восприятия) могут возникнуть два различных перцептивных состояния: *«стабильный взор/движущаяся среда»* или *«движущийся взор/стабильная среда»*. Это доказывает, что в отношении объемлющей визуальной среды наблюдатель решает скорее задачу на относительное (взор-среда) движение, чем задачу на компенсацию или подавление движения. Решение в пользу экзоцентрической пространственной системы отсчета озна-

чает стабильность восприятия, а в пользу эгоцентрической пространственной системы — его нестабильность.

Другая иллюстрация, также содержащая критические по отношению к классическим теориям стабильности факты и наблюдения, заимствована из наших экспериментов, проведенных с использованием техники варьирования величины оптической обратной связи в глазодвигательной системе (Белопольский, 1978а). При увеличении или уменьшении коэффициента зрительной обратной связи глазодвигательная система работала с систематической позиционной ошибкой, что, по прогнозу теории компенсации, должно было бы привести к визуальной нестабильности внешних объектов. На самом же деле этот прогноз был полностью опровергнут.

Можно выделить две группы результатов, полученных в этих экспериментах. Первое, были показаны перцептивные различия для гипо- и гиперметрических саккад в условиях с единственной светящейся точкой фиксации в полной темноте. Последовательное, с «недорегулированием», приближение глаза к точке фиксации не вызывало ощущения нестабильности и наблюдатель, вопреки возникающему рассогласованию, переживал стабильную фиксацию внимания на новой позиции цели во время всего цикла глазодвигательного поворота. Напротив, режим «перерегулирования с затуханием», когда саккады «перескакивали» через точку фиксации, приводил к ощущению нестабильности световой точки в форме ее колебаний относительно новой позиции фокуса внимания. Стоит отметить, что замечались только достаточно большие ($>0.5^{\circ}$) рассогласования между позицией глаза и цели, так что количество саккад в повороте всегда превышало число замеченных колебаний световой точки. Второй важной результат относился к различиям между перцептивными феноменами с единичным источником света в темноте и восприятием структурированного зрительного окружения. Несмотря на идентичные изменения параметров в контуре сенсомоторного регулирования, испытуемые, рассматривающие изображения или внешнюю обстановку, никогда не сообщали об ощущении нестабильности или каких-либо других необычных переживаниях, хотя их саккады оставались столь же неточными, как и в темноте.

Резюмируя эти результаты нужно подчеркнуть, что *а*) даже выраженный дисбаланс в окуломоторной координации не связан жестким образом с появлением ощущения зрительной нестабильности; *б*) предъявление целостной зрительной сцены облегчает восприятие ее стабильности; и *в*) в условиях обедненной визуальной системы

отсчета ощущение зрительной нестабильности зависит от направления аномального сетчаточного смещения фиксируемой цели.

Таким образом, использование тонкой экспериментальной техники, модифицирующей некоторые естественные зрительно-моторные связи, но оставляющей наблюдателю возможность целенаправленного функционирования в обычной обстановке, позволило получить ряд дополнительных фактов, свидетельствующих в пользу идеи относительности движения субъективно представленного эгоцентра и окружающей среды, отрицающей необходимость механизма компенсации сетчаточных последствий собственных движений наблюдателя.

Ниже будут изложены результаты серии опытов, проведенных с целью дальнейшей разработки данной идеи.

5.2. Фиксационные повороты глаз при восприятии изображений, стабилизированных относительно сетчатки

Предметом исследования служил один из центральных феноменов стабильности зрительного восприятия, а именно, переживание движения неподвижного относительно сетчатки глаза изображения, связанное с движениями глаз. Хотя разные исследователи использовали различные техники сетчаточной стабилизации изображений, результаты были очень схожими. В процессе произвольных движений глаз фовеальные и экстрафовеальные, единичные и множественные стабилизированные объекты перемещались в том же, что и глаза, направлении и демонстрировали сходную с ними кинематику движения (например, Белопольский, 1985; Heywood, Churcher, 1972; Kommerell, Täumer, 1972; Mack, Bachant, 1969).

Измерения показали, что при фиксации точечного стабилизированного изображения с сетчаточным эксцентриситетом до 6° возникают плавные движения глаз со скоростями, линейно зависящими от величины эксцентриситета и уровня контраста изображения (Андреева и др., 1972). При бóльших эксцентриситетах поворот глаз состоит из последовательности плавных и саккадических фрагментов. Было установлено также, что при центральном или билатеральном сетчаточном расположении стабилизированного изображения можно

произвольно управлять направлением и скоростью кажущегося движения и сопровождающих его движений глаз путем фокусировки внимания на тех или иных фрагментах изображения (Белопольский, 1985; Kommerell, Täumer, 1972).

Хотя подобные факты широко используются для демонстрации роли эфферентной информации в восприятии движения и стабильности внешних объектов, в рамках этой исследовательской парадигмы имеется несколько наблюдений, которые идут вразрез с данным выводом.

Р. Притчард (1974) использовал для сетчаточной стабилизации контактную линзу и укрепленную на ней проекционную систему с фотонегативом и отметил, что испытуемые были в состоянии переводить фокус внимания по изображению размером до 5° без указания на видимое движение этого изображения. В.П. Зинченко и Н.Ю. Вергилес (1969) развили этот метод, создав с помощью прерывистого разноцветного освещения условия для длительного наблюдения стабилизированного изображения. В их экспериментах размер структурированного изображения достигал 40° и велась регистрация движений глаз. Был также обнаружен эффект перемещения фокуса внимания по стабилизированному изображению, названный ими «функциональным фовеа». Оказалось однако, что любое изменение позиции фокуса внимания сопровождается характерными движениями глаз, диапазон которых был меньше, чем область сканирования, а кинематика, наряду с саккадами, включала также явно выраженный дрейфовый компонент. Хотя в их работе ничего не сообщается о подвижности или стабильности всего рассматриваемого изображения, из личного сообщения одного из авторов (Вергилес, 1974) следует, что внимание перемещалось по *неподвижному* изображению.

Убедительные данные о различиях между пространственным поведением стабилизированных на сетчатке «локального» и «глобального» изображений содержит работа Г.М. Зенкина и А.П. Петрова (1979). В своих экспериментах они применяли технику последобраза, т.е. образа, остающегося на сетчатке после кратковременной яркой вспышки. Они были, насколько нам известно, первые, кто создал условия для рассматривания стабилизированного изображения естественной среды, занимающего все поле зрения наблюдателя. В их работе сообщается о перцептивной стабильности средового, или «богатого» последовательного образа в процессе рассматривания, тогда как общеизвестный феномен движения стабилизированного

изображения вместе с движениями глаз типичен, по их данным, только для локального, или структурно «бедного» послеобраза. Более того, они обнаружили, что объективно неподвижные светящиеся точки, рассматриваемые на фоне послеобраза окружающей обстановки, воспринимаются как движущиеся в процессе произвольного изменения объекта фиксации. К сожалению, ничего нельзя сказать о характере глазодвигательной активности в процессе выполнения такого рода заданий, поскольку параллельная регистрации движений глаз не проводилась.

Целью наших экспериментов являлось получение дополнительной информации о пространственной динамике средового последовательного образа (СПО) в процессе движений глаз и головы, в сравнении с динамикой локального последовательного образа (ЛПО). В частности, проводилась регистрация движений глаз испытуемых, чтобы оценить, меняются ли их характеристики в зависимости от экологического статуса ПО (СПО или ЛПО). Кроме того, оценивалось поведение самосветящихся неподвижных точек на фоне СПО и их влияние на динамику СПО и движений глаз. Наложение (суперпозиция) элементов зрительного поля с разными параметрами зрительной обратной связи создает ситуацию, при которой можно изучать феномены стабильности раздельно на сенсо-моторном и перцептивном уровнях (см. Барабанщиков, Зубко, 1980). Наконец, изучались феномены стабильности при рассматривании ПО частей тела наблюдателя, а именно, его ладони. Последняя экспериментальная процедура применялась для проверки гипотезы, что ЛПО внешних объектов и частей собственного тела должны вести себя различным образом в процессе движений глаз, поскольку они принадлежат разным (экзоцентрической или эгоцентрической) системам отсчета.

Методика

Оборудование

Для создания ПО в наших опытах были использованы 2 синхронизированные фотовспышки, каждая мощностью 120 Дж. Вспышки располагались с обеих сторон от головы испытуемого, сидящего в светоизолированном помещении, заполненном аппара-

турой, мебелью, плакатами на стене и т.д. Расстояние от глаз испытуемого до стены составляло 60 см, что обеспечивало достаточный для возникновения СПО уровень отраженного от вспышки света. Прямо перед испытуемым на стене находилась магнитная доска со случайно распределенным буквенно-цифровым материалом разного цвета, что создавало достаточно сильную структурированность поля зрения. Наряду с этим в поле зрения находились светодиоды (СД) красного свечения, которые могли включаться в момент возникновения ПО. Для контроля за положением взора использовали центральный СД, который выключали одновременно с включением вспышек. При создании единичного или пары ЛПО использовали большой темный экран и фотовспышки со шторками, обращенные в сторону испытуемого.

В процессе всего периода рассматривания ПО велась регистрация горизонтальной составляющей движений глаз фотоэлектрическим методом (регистратор ASL-200). В отдельных опытах регистрировались движения головы (гониометрический метод).

Процедура

Наблюдение ПО велось бинокулярно. Перед включением вспышек испытуемый подвергался темновой адаптации в течение 10 минут, чтобы увеличить четкость и продолжительность рассматриваемого СПО. В оптимальных условиях длительность первой, положительной фазы СПО составляла до 10 сек, которых хватало для выполнения одной из инструкций: смена точек фиксации, эксцентричная фиксация, сканирование поля зрения, поворот головы и т.д. СПО воспринимался испытуемыми как естественная обстановка, освещенная слабым и постепенно затухающим серо-голубоватым светом. После получения отчета испытуемого о видимых трансформациях ПО или их отсутствии и дополнительного периода адаптации, подавалась очередная инструкция, за которой следовала новая вспышка. Вся экспериментальная сессия проходила в условиях полной темноты. Схематическое изображение СПО для данной экспериментальной обстановки представлено на рисунке 5.2.

В задаче, требующей рассматривания испытуемым ПО собственной ладони, сравнивали две ситуации. В первой рука испытуемого оставалась после вспышки в той же позиции, что и в момент засветки, а во второй она убиралась после вспышки на колено (см. рисунок 5.3).

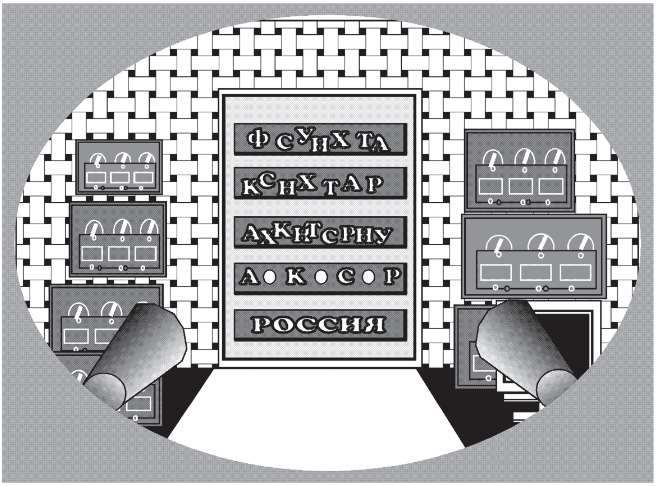


Рис. 5.2. Схематическое изображение видимого наблюдателем последовательного образа окружающей среды

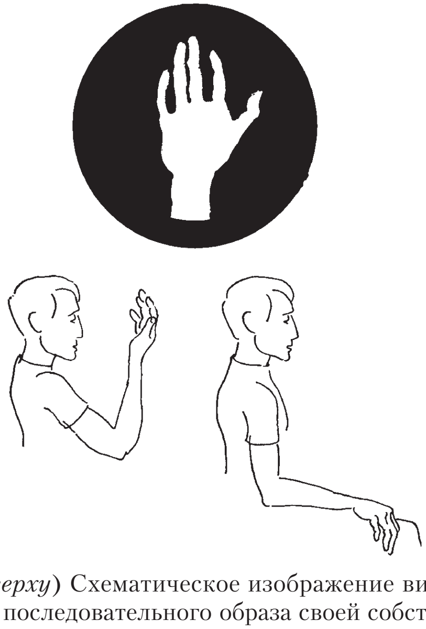


Рис. 5.3. (*Вверху*) Схематическое изображение видимого наблюдателем последовательного образа своей собственной ладони. (*Внизу*) Варианты положения руки после возникновения последовательного образа собственной ладони

В опытах участвовало 6 взрослых испытуемых; с двумя из них были проведены записи движений глаз и головы, данные по остальным испытуемым использовались для проверки достоверности отчетов о феноменальных преобразования ПО при выполнении разных инструкций.

5.3. Результаты исследования

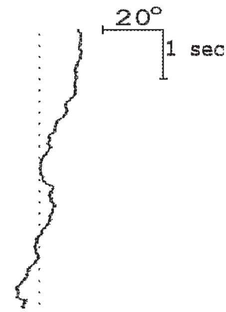
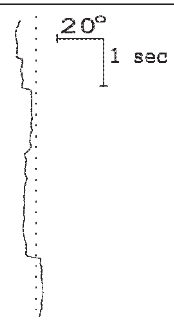
Все испытуемые давали достаточно сходные отчеты о перцептивных трансформациях последовательных образов в процессе движений глаз. Ниже приводятся типичные результаты, полученные при выполнении различных заданий (таблицы 1–6).

Наши наблюдения за поведением ПО естественного зрительного окружения подтвердили обнаруженный Г.М. Зенкиным и А.П. Петровым (1976) феномен стабильности такого образа при его свободном рассматривании (таблица 1) и при фиксации его отдельных элементов (таблица 2) с участием движений глаз и неподвижной голове, вне зависимости от наличия или отсутствия в поле зрения объективно неподвижных самосветящихся точечных объектов. Локальные же ПО, в соответствии с классическими наблюдениями и многочисленными экспериментальными данными, воспринимаются движущимися при движении глаз (таблица 2). Сопоставление этих фактов имеет принципиальное значение для теории зрительной стабильности, поскольку ясно демонстрирует возможность разных перцептивных интерпретаций при одних и тех же условиях сенсо-моторного контура управления взором. При этом параметры, по которым различаются СПО и ЛПО, такие как размер видимого изображения, его структурированность и «натуральность», не входят в число значимых переменных в многочисленных моделях, объясняющих зрительную стабильность в русле теории компенсации.

Более того, объективно неподвижные самосветящиеся объекты, рассматриваемые в суперпозиции с ПО зрительного окружения, воспринимались движущимися на фоне стабильного окружения, что опять-таки не может получить удовлетворительного объяснения в рамках теории компенсации и других теорий, использующих механизмы «оценки» (MacKay, 1973) или «рекалибровки» одномерных сигналов от разных источников пространственной информации (Bridgeman et al., 1994).

Таблица 1

Задание: Свободное рассматривание зрительной сцены

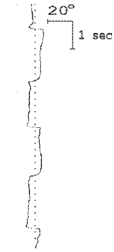
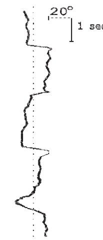
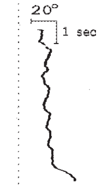
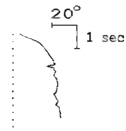
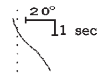
Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный СПО	Отсутствуют	Рассмотреть обстановку, перемещая взор вправо и влево	Свободное перемещение фокуса внимания по стабильному зрительному окружению	
	Центральный или 2 билатеральных СД	Рассмотреть обстановку, игнорируя СД	Стабильное зрительное окружение. Движение СД в противофазе со смещением фокуса внимания	

Можно предположить, что источником перцептивных различий между этими ситуациями служат движения глаз, параметры которых, возможно, различаются при рассматривании локального и глобального ПО. В литературе данные на этот счет отсутствуют. Полученные нами результаты содержат ответ на этот вопрос.

Зарегистрированные в эксперименте горизонтальные движения глаз при фиксации периферического ЛПО или элемента СПО (таблица 2) принципиально не различаются между собой по кинематическому типу: и те, и другие характеризуются выраженной плавной компонентой, иногда, особенно при больших эксцентри-

Таблица 2

Задание: Смена заданных объектов фиксации

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный СПО	2 билатеральных СД на расстоянии < 10° друг от друга	Смотреть попеременно на правый и левый СД	Перемещение фокуса внимания между стабильной парой СД. Отсутствует ясное впечатление о динамике объектов, примыкающих к фиксационным целям	
	2 билатеральных СД на расстоянии > 10° друг от друга		Стабильное зрительное окружение. Движение пары СД относительно неподвижной позиции взора	
	Отсутствуют	Смотреть попеременно на указанные элементы окружения (буквы) разнесенные в пространстве на 10°	Стабильные объекты фиксации. Стабильное окружение	
Бинокулярный ЛПО		Смотреть попеременно на два билатеральных ЛПО, разнесенные в пространстве на 10°	Движение пары ЛПО	
Бинокулярный СПО		Фиксировать указанный элемент окружения (букву), имеющую эксцентриситет на 5°	Стабильный объект фиксации. Стабильное окружение	
Бинокулярный ЛПО		Фиксировать латеральный ЛПО с эксцентриситетом 5°	Движение одиночного ЛПО	

ситетах цели, прерываемой саккадами. Направление и скорость однонаправленного поворота и в тех и в других условиях подчиняется вектору сетчаточной проекции объекта фиксации, а его амплитуда зависит от длительности удержания внимания на этом объекте. Таким образом, для управления глазодвигательной системой определяющее значение имеет связанный с фиксируемым объектом тип зрительной обратной связи (в данном случае — нулевая обратная связь, «open-loop conditions»), тогда как перцептивный эффект выполняемых в данных условиях движений может быть принципиально различным.

Характер движений глаз несколько меняется при помещении в поле зрения нестабилизированных, объективно неподвижных элементов, даже когда они по инструкции не являлись объектами пристального внимания. Это изменение состоит в увеличении удельного веса саккадического компонента глазодвигательной активности и уменьшении диапазона сканирования. Можно предположить, что в процессе рассматривания такие объекты все-таки, вопреки инструкции, попадали в поле внимания, модифицируя на какой-то момент коэффициент зрительной обратной связи. Эти вариации, однако, никак не сказывались на общем переживании стабильности СПО.

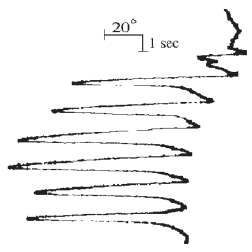
Подтверждением сказанному служат и результаты, полученные при попеременной фиксации самосветящихся неподвижных объектов на фоне СПО (таблица 2). И здесь параметры глазодвигательной реакции определялись характеристиками зрительной обратной связи фиксируемой цели (отрицательная обратная связь с коэффициентом усиления -1, «close-loop conditions»), т.е. при переводе взора на нестабилизированный объект глазодвигательная система генерировала поворот по типу саккады. Однако стабильное восприятие этих объектов возникало только при их незначительной пространственной разнесенности, тогда как при последовательной фиксации более удаленных друг от друга неподвижных целей воспринималось их кажущееся движение на фоне стабильного зрительного окружения, сопровождающееся переживанием неподвижности взора.

Интересно отметить, что при пассивных движениях глаз (таблица 3) не было установлено различий между пространственным поведением локального и глобального ПО: в обоих случаях он оставался стабильным, а присутствующая в поле зрения самосветящаяся неподвижная цель казалась перемещающейся вместе с глазом.

Принципиально новые результаты были получены при рассматривании ПО собственной ладони (таблица 4). Такой ПО может быть от-

Таблица 3

Задание: Постукивание пальцем по краю глазного яблока

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Монокулярный СПО	Отсутствуют	Отсутствуют	Стабильное окружение	
	Центральный СД	Отсутствуют	Стабильное окружение. Движение СД	
Монокулярный ЛПО	Отсутствуют	Отсутствуют	Стабильный ЛПО	

несен к разряду локальных, поскольку рассматривался на темном фоне и не превышал по размеру 15° (сравни с данными из: Белопольский, 1985). Однако, в отличии от ПО локального объекта, ПО ладони мог восприниматься стабильно в процессе его рассматривания, когда рука сохраняла занимаемую до вспышки позицию. Если же рука сразу после вспышки убиралась на колени, создавая конфликт между зрительной и проприоцептивной информацией о фактическом положении руки, то такой ПО воспринимался уже нестабильно. Хотя движения глаз в обоих случаях имели значительное сходство, стабильное восприятие с опорой на проприоцептивную позицию руки увеличивало пропорцию в них саккадического компонента, тогда как при нестабильном восприятии окуломоторика соответствовала условиям сетчаточной стабилизации локального объекта с доминированием плавного компонента.

Предлагаемое объяснение этих результатов состоит в том, что совпадение проприцептивной и зрительной информации о пространственном положении руки придает ПО ладони статус «реалистичности», а потому и неподвижности, даже вопреки изменению позиции глаз, тогда как конфликт такой информации разрешается в пользу руки на колене, а ПО ладони воспринимается уже как «изображение», которое может перемещаться в пространстве вместе глазом.

При вращениях головы из стороны в сторону с фиксацией взора на объекте в условиях СПО (таблица 5), возникали плавные компенса-

Таблица 4

Задание: Рассматривание ПО ладони, центрированного относительно фона

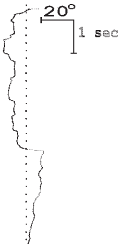
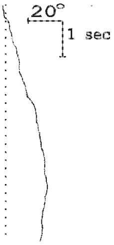
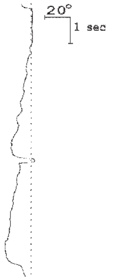
<table>
<tr><th colspan="3">Условия наблюдения</th><th colspan="2">Результаты</th></tr>
<tr><th>Тип ПО</th><th>Неподвижные самосветящиеся объекты</th><th>Дополнительная инструкция</th><th>Субъективное впечатление</th><th>Горизонтальные движения глаз</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Бинокулярный ПО собственной ладони</td><td>Отсутствуют</td><td rowspan="2">После вспышки рука остается в прежней позиции</td><td>Перемещение внимания по стабильной ладони</td><td></td></tr>
<tr><td>Центральный СД</td><td>Стабильная ладонь. Движение СД в противофазе с перемещением внимания</td><td></td></tr>
<tr><td>Отсутствуют</td><td rowspan="2">После вспышки рука кладется на колени</td><td>Движение ПО ладони синхронно с перемещением внимания</td><td></td></tr>
<tr><td>Центральный СД</td><td>Движение ПО ладони синхронно с перемещением внимания. Стабильный СД</td><td></td></tr>
</table>

Таблица 5

Задание: Повороты головы при удержании фиксации на объекте

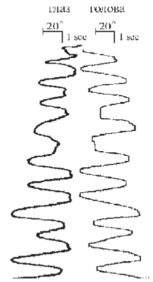
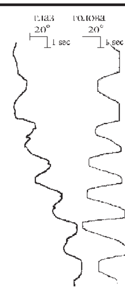
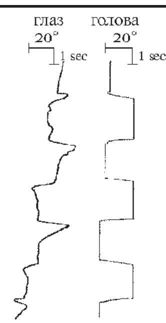
Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный СПО	Центральный СД	Фиксация центрального СД	Стабильное окружение. Стабильный СД	
	Отсутствуют	Фиксация объекта в центре СПО	Стабильное окружение	

Таблица 6

Задание: Повороты взора при участии головы

Условия наблюдения			Результаты	
Тип ПО	Неподвижные самосветящиеся объекты	Дополнительная инструкция	Субъективное впечатление	Горизонтальные движения глаз
Бинокулярный СПО	Отсутствуют	Фиксировать указанный периферический элемент окружения, используя поворот головы	Нестабильное окружение, перемещающееся вместе с взором	

ционные движения глаз, которые обеспечивали стабилизацию взора в пространстве. Точность этой компенсации зависела от того, являлся ли объект фиксации, соответственно, неподвижной самосветящейся целью или фрагментом СПО. Тем не менее в обоих случаях сохранялась кажущаяся стабильность ПО зрительного окружения. В противовес этому, поворот взора в новую позицию, выполняемый при участии головы (таблица 6), нарушает стабильность восприятия СПО.

5.4. Роль пространственной системы отсчета в поддержании стабильности видимого мира

Суммируя полученные результаты, следует подчеркнуть следующее. Если для контура управления движениями глаз условия СПО и ЛПО являются идентичными (различия могут быть связаны только с легкостью выделения и удержания объекта фиксации), то они принципиально различны с точки зрения феноменальной стабильности этих образов во время движений глаз. Реалистичный СПО доминирует как стабильная зрительная пространственная система отсчета, а удержание внимания («зрительное схватывание», «visual grasp» в терминологии Enright, 1994) на том или ином его элементе позволяет перцептивной системе, вопреки окуломоторной нестабильности этого состояния, интерпретировать его как одноактный перевод взора. В этой системе отсчета воспринимается перемещение объективно неподвижных объектов вместе с движениями глаз, что вполне согласуется с принципом относительности в восприятии движения (Dunker, 1929; Johansson, 1950). Условием стабильного восприятия неподвижных объектов на фоне СПО является пристальная фокусировка внимания на этих объектах в процессе их рефиксации, что удается только при их близком взаимном расположении. Можно предположить, что такая фокусировка позволяет отстроиться от СПО и воспринять сами неподвижные объекты как систему отсчета. Когда же такие объекты разнесены достаточно далеко и их рефиксация невозможна без внимания к СПО (что отражается, в частности, в усилении постсаккадического дрейфа), то саккадические движения глаз сопровождаются парадоксальным ощущением неподвижности взора, стабильности

зрительного окружения и кажущегося смещения неподвижных объектов, что очень напоминает феноменологию начального этапа рассматривания структурного изображения в условиях редукции поля зрения (Белопольский, 1978б). Что же касается воспринимаемого движения ЛПО при поворотах глаз, то логично предположить, что фиксируемый объект меняет свою локализацию относительно какой-то неподвижной пространственной системы отсчета. При рассматривании ЛПО в полной темноте ею может быть эгоцентрическая система координат («схема тела»), а при рассматривании ЛПО на свету — координаты внешнего пространства.

Интересно, что при пассивных (механических) перемещениях глаз различия в пространственной динамике СПО и ЛПО отсутствуют и оба они воспринимаются стабильно. В контексте развиваемого нами подхода это означает, что такое экологически невалидное воздействие не изменяет позиции визуального эгоцентра. Соответственно, в этих условиях стабилизированное сетчаточное изображение воспринимается стабильно, а все трансформации сетчаточного изображения, сопровождающие восприятие неподвижных объектов, переживаются как движение.

Следовательно, объяснение феномена стабильности зрительного восприятия действительно не может быть сведено к механизмам сенсо-моторного управления взором, а представляет собой, на наш взгляд, проблему визуальной экологии и может быть переформулировано как *решение задачи на включение воспринимающего субъекта в зрительный образ окружающего мира*.

Определенным аргументом в пользу такой постановки проблемы служат также наши результаты, полученные при рассматривании ПО части тела (ладони) наблюдателя. Действительно, такой ЛПО воспринимался как неподвижный, когда перцептивная система принимала решение об *идентичности* проприоцептивной и зрительной информации о местоположении руки в пространстве, даже вопреки изменившейся пространственной позиции глаз. Условием такого решения было сохранение позы руки до и после возникновения ПО. Когда же положение руки после вспышки изменялось, то ПО уже не воспринимался как «реальная» ладонь и изменения в ориентации ПО при движениях глаз оценивалось уже в координатах эгоцентрической системы отсчета.

Стабильное восприятие СПО сохраняется и в том случае, когда удержание взора на объекте, будь то неподвижная самосветящаяся цель или элемент СПО, достигается координированным поворотом

головы и глаз. При этом не важно, сохраняется или нет объективная неподвижность взора, т.е. является ли полной вестибуло-окулярная компенсация поворотов головы: главное условие стабильного восприятия состоит именно *в отсутствии перемещения взора* относительно визуальной системы отсчета. Но как только голова меняет свое положение в процессе *активного поворота взора* при рассматривании СПО, то проприоцептивная информация о новом положении головы принимает на себя ведущую роль в определении пространственной позиции визуального эгоцентра, что ведет к потере стабильности и придании качества «иллюзорности» СПО.

Заключение

1. Рассмотренные феномены восприятия стабильности видимого мира, в том числе и новые результаты, полученные в наших экспериментах с последовательными образами естественного окружения, составляют достаточно весомую фактологическую основу для *отрицания* существования экстраретинального источника пространственной информации, или *позиционного чувства глаза*. Даже активные движения глаз, выполняемые в сходных с точки зрения сенсо-моторики условиях, не всегда приводят к одним и тем же пространственно-динамическим перцептивным эффектам.
2. Вместе с тем, нельзя игнорировать и фундаментальный факт присутствия субъекта в пространственном образе окружающего мира, причем не только в форме видимых частей его тела, но и форме сфокусированного «Эго», *эгоцентра*, обычно обозначаемого как фокус внимания, или взора. В условиях нормального зрительного окружения сенсорной основой такого *чувства взора* может служить сама структура зрительного поля; при обедненной же зрительной пространственной информации или ее отсутствии роль системы отсчета переходит к «схеме тела», а позиция взора определяется в ней как «виртуальная» часть тела наблюдателя. Последнее предположение можно аргументировать тесной пространственной координацией движений глаза и руки (Гиппенрейтер, 1978), а также отногенетическими данными о роли руки в овладении активной фиксацией и пере-

водом взора (Бауэр, 1979; Сергиенко, 2006).

3. Визуальная стабильность окружающей среды выступает, в свете новых данных, как экологическое условие жизнедеятельности, тогда как нарушение стабильности среды либо компенсируется индукцией движения на самого наблюдателя (эго-движение), либо ведет к переживанию чувства нереальности, искусственности зрительной сцены.
4. При перемещениях наблюдателя, его глаз и головы, изменяется относительное положение взора и объектов окружающей среды. Условием поддержания стабильности видимого мира является эффективное управление пространственной динамикой внимания (взора), включающее способность захватывать зрительную цель, удерживать на ней фокусировку как во время движений глаз, так и между ними, а также отстройку от предыдущей цели в любой момент времени, определяемый ходом выполнения решаемой задачи.
5. В случаях, когда нарушается привычная координированность в динамике пространственного внимания и глазодвигательного контура управления, или между сдвигом внимания и последующими визуальными событиями, то решением воспринимающей системы может быть переключение пространственной системы отсчета с экзоцентрической на эгоцентрическую, т.е. перенос экологического постулата стабильности с внешнего мира на схему тела наблюдателя.

Глава 6. ТОРЗИОННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ И КОНСТАНТНОСТЬ ОРИЕНТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ОТНОСИТЕЛЬНО ГРАВИТАЦИОННОЙ ВЕРТИКАЛИ

Деятельность человека происходит в пространственно организованной среде. Это предполагает наличие у него определенной формы репрезентации пространства, включая сюда выбор системы координат и метрики ее осей (Belopolsky, 1994).

Самым постоянным и наиболее значимым из всех признаков окружающей среды, на которые ориентируется человек, является гравитация. В обычных условиях она константна как по силе, так и по направлению, но может меняться под воздействием угловых и линейных ускорений. Вектор силы гравитации — вертикаль, определяет главную ось внешней (экзоцентрической) пространственной системы отсчета. Наблюдатель получает информацию о вертикали по разным сенсорным каналам — через зрение, поскольку контуры и очертания объектов природной среды насыщены линиями, ребрами и градиентами, совпадающими по направлению с гравитационной вертикалью, от вестибулярной и соместетической систем (см. Белопольский, 1988; Howard, 1982).

В норме согласованная работа сенсорных механизмов обеспечивает достаточно точное совпадение направлений субъективной и объективной вертикали. В естественной визуальной среде, сохраняя вертикальную позу туловища и головы, человек может с высокой точностью, вплоть до 0,5°, оценить отклонение предъявленной ему линии от вертикали или установить линию (стержень) относительно гравитационной вертикали. Однако при отсутствии четких внешних пространственных ориентиров и/или при сильных, необычных грави-то-инерционных воздействиях точность оценки вертикали снижается систематическим образом.

Одним из механизмов константности воспринимаемой вертикали является активное поддержание нормальной прямой позиции тела,

головы и глаз за счет системы постуральных и вестибуло-окулярных рефлексов. Цель такого рода двигательной регуляции состоит в стабилизации эгоцентрической, и, прежде всего — ретиноцентрической системы координат относительно гравитационной вертикали, что открывает возможность более надежной пространственной ориентации человека в условиях дефицита зрительной информации и при конфликте зрительной и вестибулярной информации.

Человеческий глаз имеет 3 степени свободы: наряду с горизонтальными и вертикальными движениями возможны также вращения глазного яблока относительно зрительной оси, называемые торзией, ротаторными движениями, или цикловращением глаза (Diamond, 1979; Howard, 1982; Collewijn et al., 1985). Основная функция торсионных движений глаз (ТДГ) связана с компенсацией поворота вертикального меридиана сетчатки, вызванного наклоном головы в сторону от направления прямо верх. В управлении ТДГ принимают участие как вестибулярные сигналы от полукружных каналов и оттолитового аппарата, так и зрительные сигналы, хотя об их взаимодействии и относительном вкладе каждого известно пока не так много. Есть данные (полученные преимущественно в условиях статического изменения позы), что ориентационная компенсация наклонов головы за счет ТДГ не бывает полной и составляет около 10–20%. Примерно так реагируют ТДГ на изменение направления вектора гравитации (Miller, 1962) и пассивные наклоны тела (Collewijn et al., 1985; Schmid-Priscoveanu et al., 2000). В последние годы стали появляться исследования, где делается попытка измерить динамические параметры системы управления ТДГ при активных наклонах головы (Левашов, Дмитриева, 1981; Belopolsky, 1989a; Diamond, 1979; Ferman et al., 1987; Petrov, Zenkin, 1973; Vieville, Masse, 1987). В этих условиях коэффициент усиления системы ТДГ, измеряемый как отношение между углом наклона головы и величиной противовращения глаза, имеет более высокое значение и зависит при этом от целого ряда переменных: частоты и скорости наклона головы, условий наблюдения (на свету или в темноте) и др. Кроме того, ТДГ сопровождают сканирующие движения глаз (Ferman, Collewijn, Van der Berg, 1987a; 1987b), а также реагируют на оптокинетическую стимуляцию и наклон визуальной системы отсчета (Howard,1982). Таким образом, ТДГ являются неотъемлемой частью системы управления взором, обеспечивающей константное восприятие окружающего пространства.

Цель настоящего исследования — изучить работу системы ориентации человека относительно гравитационной вертикали в усло-

виях квазипериодических гравитоинерционных воздействий. Особый акцент был сделан на исследовании характеристик торсионных движений глаз (ТДГ) при активных и пассивных наклонах головы и туловища, а также на оценку относительного вклада зрительной обратной связи по ориентации и способов разрешения конфликта между вестибулярной и зрительной информацией. Эксперименты проводились в лабораторных условиях и на плавучем стенде, обеспечивающем условия боковой качки.

В исследовании были поставлены следующие задачи:

1) Апробировать новую методику регистрации торсионных движений глаз. В этой целью проводилась оценка величины спонтанных флуктуаций глаз торсионного типа и вклада торсионной составляющей в поисковую глазодвигательную активность при перемещении глаз во вторичные и третичные орбитальные позиции.
2) Сравнить параметры ТДГ при активных наклонах головы, сопровождающихся отрицательной зрительной обратной связью (естественная среда) и при стабилизации визуальной системы отсчета относительно головы.
3) Получить данные о взаимосвязи ориентационных двигательных механизмов глаз и головы при пассивных квазипериодических наклонах туловища (гравитоинерционное воздействие) и стабилизированной относительного него визуальной системы отсчета.

6.1. Методика

Регистрация ТДГ

Нами (Белопольский, Вергилес, 1990) была разработана методика регистрации ТДГ, которая позволяет с большой точностью измерять текущее положение вертикального меридиана сетчатки вне зависимости от положения глаза в орбите и положения головы и туловища в пространстве. Она является модификацией ранее описанного метода (Левашов, Дмитриева, 1981), но обладает, по сравнению с ним, рядом преимуществ: высокой помехозащищенностью, широким диапазоном измеряемых углов ТДГ, а главное — возможностью регистрации ТДГ в процессе свободного поведения человека, чего не позволяют другие известные методы.

При разработке метода регистрации ТДГ мы исходили из следующих требований: 1) точность — не менее 10’ в диапазоне ±30°; 2) измерение параметров ТДГ в координатах головы; 3) электрический сигнал на выходе системы регистрации (что принципиально для последующей автоматизированной обработки).

Идея предлагаемого фотоэлектрического метода состоит в использовании поляроида в качестве анализатора линейно поляризованного света. Его принципиальная схема представлена на рисунке 6.1 и включает 3 основных блока. Блок осветителя (I) предназначен для засветки глаза равномерным потоком линейно поляризованного света. В блоке измерителя (II) происходит преобразование падающего на глаз света в электрический сигнал, пропорциональный углу поворота поляроида-анализатора. Блок регистрации (III) включает устройство усиления и записи сигнала, поступающего от блока II.

В блоке I в качестве источника света использован светодиод красного свечения, помещенный в закрытый корпус вместе с электромагнитом, на подвижный контакт которого прикреплен пленочный поляроид-поляризатор. Излучаемый светодиодом световой поток проходит через поляризатор и выходит через окошко в корпусе осветителя. Включение электромагнита вызывает вращение поляриза-

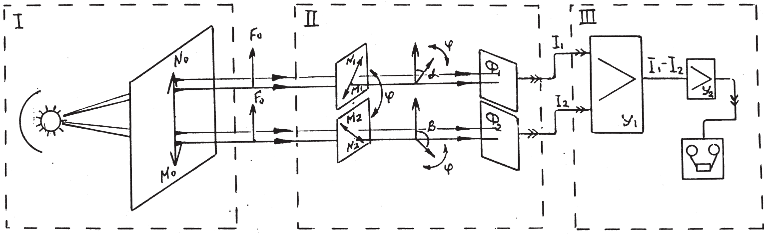


Рис. 6.1. Блок-схема метода фотоэлектрической регистрации торзионных движений глаз. I — осветитель; II — измеритель; III — регистратор:

M_0N_0, M_1N_1 и M_2N_2 — оси поляризации, соответственно, поляроида-поляризатора и 2 поляроидов-анализаторов; F_0 — вектор светового потока. α и β — углы между оптическими осями поляризатора и анализатора в начальной позиции; ф — угол торзионного поворота глаза; $Ф_1$ и $Ф_2$ — фотоэлементы; I_1 и I_2 — электрический сигнал на выходе фотоэлементов; $у_1$ — предусилитель; $у_2$ — усилитель постоянного тока

тора на фиксированный угол 10° и служит для калибровки записей ТДГ. Вся конструкция крепится к головному шлему с помощью многозвенного сочленения, имеющего достаточно степеней свободы для правильной установки осветителя с учетом индивидуальных особенностей обследуемых. Стандартная позиция осветителя — ниже и темпоральнее зрительной оси при направлении взгляда прямо вперед, расстояние до глаза 3–4 см. Такое расположение оставляет открытым почти все поле зрения и не мешает выполнению зрительных задач.

В блоке II измеритель объединяет в единую конструкцию 2 поляроида-анализатора с кремниевыми фотоэлектрическими датчиками (солнечные батареи) для каждого из них. Он крепится непосредственныо на глазное яблоко с помощью центральной глазной присоски сбоку от тубуса, не загораживая и не ограничивая поля зрения измеряемого глаза (см. рисунок 6.2). В соответствии с законом Малюса интенсивность линейно поляризованного света будет ослабляться на величину $\cos^2 \omega$, где ω — угол между плоскостью поляризации падающего света и главной осью поляроида-анализатора.

В исследованиях использовали 2 варианта измерителей с анализаторами, оси поляризации которых были расположены под углом 90° или 45° друг к другу. При постановке на глаз они располагались сим-

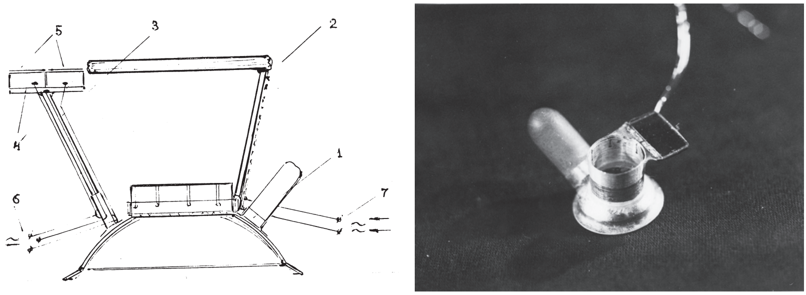


Рис.6.2. *Слева* — схематическое изображение глазной присоски с фотоэлектрическим датчиком для регистрации торзионных движений глаз и излучающей катушкой для регистрации горизонтальных и вертикальных движений глаз

1— корпус присоски; 2 — стойка с излучающей катушкой; 3 — стойка фотоэлектрического датчика; 4 — кремнивые элементы; 5 — поляроидные фильтры, ориентированные под углом 90°, покрытые стеклом; 6 — выводы фотоэлектрического датчика; 7 — контакты питания катушки.

Справа — фотография устройства

метрично относительно угла 90° от плоскости поляризации осветителя. Следовательно, в исходной позиции (голова прямо вверх) угол $\omega = \alpha(\beta)$ был равен в первом случае 45° (135°), а во втором — 67.5° (112.5°). Пара поляроидов-анализаторов и балансная схема соединения фотоэлементов использована для большей помехозащищенности от флуктуаций освещенности, связанных с плоскостными движениями глаз и головы, и для лучшего шумоподавления. В этом состоит главное отличие нашего метода от прототипного (Левашов, Дмитриева, 1981). Каждый фотоэлемент регистрирует световой поток, проходящий через соответствующий поляроид-анализатор. Референтные (нулевые) выходы фотоэлементов соединены между собой и связаны с центральной точкой дифференциального усилителя. Следовательно, ТДГ на определенный угол ϕ приведет к пропорциональному изменению интенсивности пропускаемого анализатором и улавливаемого фотоэлементом светового потока (см. рисунок 6.1). Следует учитывать, что измеритель устанавливается таким образом, чтобы увеличение сигнала на одном фотоэлементе вело к уменьшению сигнала на другом, т.е. симметрично относительно закрытого состояния поляроидов-анализаторов. Напротив, горизонтальное и вертикальное движение глаза и смещения головы не вызовут изменений в угле ϕ и, соответ-ственно, в реакции фотоэлементов.

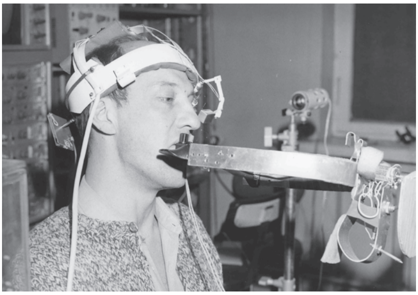
Измеритель с взаимно перпендикулярными осями поляризации анализаторов применяли для расширения диапазона регистрации ТДГ, теряя при этом в линейности записи. Однако эти потери меньше, чем были бы при использовании одного поляроида-анализатора, как в методике Левашова–Дмитриевой, за счет компенсационной схемы включения. Когда же исследуемый диапазон ТДГ был заведомо меньше ±20°, использовали измеритель с анализаторами, плоскости поляризации которых расположены под углом 45°. В этом случае линейность записи была выше. В целом же проблема линеаризации выходного сигнала успешно решается с помощью ЭВМ программным путем.

Масса системы измерителя составляет около 0.3 г, габаритные размеры — 7 х 5 х 2 мм.

Блок регистрации III включает дифференциальный предусилитель с диапазонами усиления входных сигналов от 50 мкВ, усилитель постоянного тока и регистратор данных на магнитную ленту или непосредственно в память ЭВМ. Коммутация усилителя с измерителем осуществляется через разъем, укрепленный на головном шлеме.

Регистрация наклонов головы и туловища

В лабораторных условиях для регистрации поворотов головы в плоскости плеч мы использовали механический гониометр, на ось которого укрепляли линейное переменное сопротивление, включенное в электрическую цепь, для получения на выходе калиброванного сигнала об угле поворота головы. Фиксация оси гониометра относительно головы обеспечивалось путем зубного слепка, а сам потенциометр крепился к укрепленному на полу штативу. На плавучем стенде для тех же целей использовали фотоэлектрическую систему, аналогичную той, которая применялась для регистрации ТДГ. Датчики крепились на шлеме со стороны затылка, осветитель располагался на треноге позади испытуемого. Наклоны туловища, которое оставалось неподвижным в кресле, укрепленном на стенде, измеряли также посредством линейного переменного сопротивления как угол между гравитационной вертикалью (сигнал от гироскопа) и вертикальной осью плавающего экспериментального стенда, базирующегося на яхте. На рисунке 6.3 приведены фотографии измерительных установок в рабочем положении. (Блок-схему установки гониметрической регистрации движений головы смотри на рисунке 6.4, а блок-схему установки, используемой на плавучем стенде — на рисунке 6.5).



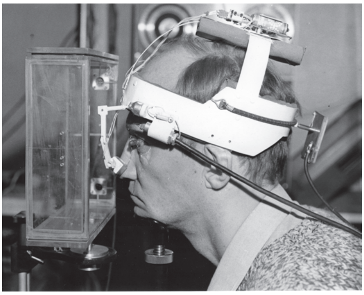
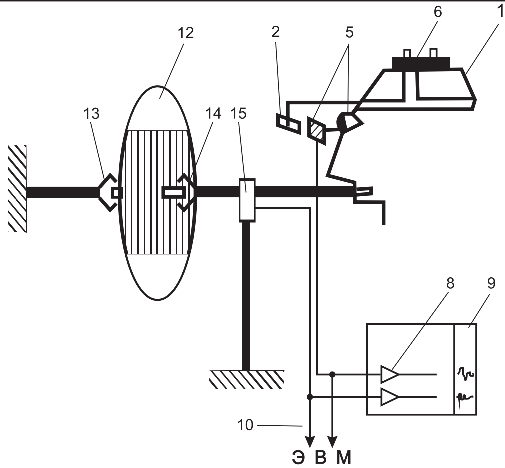


Рис.6.3. На фотографиях показаны аппаратные средства регистрации ТДГ и наклонов головы (*слева* — гониометр; *справа* — фотоэлектрическая установка) показаны в рабочем положении.



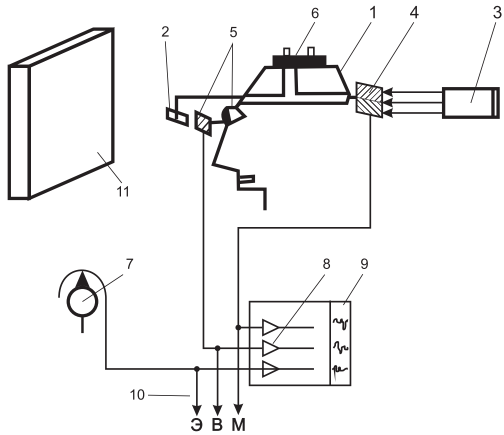


Рис.6.4. (*Вверху*) Блок-схема экспериментальной установки для регистрации торзионных движений глаз и наклонов головы в лабораторных условиях

Рис.6.5. (*Внизу*) Блок-схема экспериментальной установки для регистрации торзионных движений глаз, наклонов головы и крена туловища в условиях плавучего стенда:

1— головной шлем; 2 — осветитель глазной; 3 — осветитель головной; 4 —датчик головной; 5 — глазная присоска с датчиком; 6 — пульт управления глазным осветителем и калибровкой ТДГ с батареей питания; 7 — датчик крена плавучего стенда в комплекте с гироскопом; 8 — предусилители постоянного тока; 9 — самописец; 10 — выход через АЦП на цифровой регистратор данных; 11 — графический дисплей; 12 — светлый диск (50°) с черными вертикальными полосами; 13 — рычаг крепления диска к стене; 14 — рычаг крепления диска к гониометру; 15 — потенциометр гониометра

6.2. Процедура

Серия лабораторных экспериментов

Испытуемые сидели в кресле самолетного типа; голова вертикально, взгляд прямо вперед. Испытуемого просили выполнить ряд задач.

Задача 1 — фиксировать черную точку на гомогенном светлом фоне; переводить взор с точки на точку по горизонтали, вертикали и диагонали; следить за круговым вращением черной точки. Расстояние между диагональными точками 14°, между вертикальными и горизонтальными — 10°, радиус вращения точки — 5°. Размер черной точки 0.5°.

Задача 2 — выполнять наклоны головы попеременно к правому и левому плечу с постоянной амплитудой порядка ±10°. Инструкция требовала постепенно увеличивать темп наклона головы от очень медленного (0.3 Гц) до максимально быстрого (1.0–1.2 Гц). Темп наклона задавался внешним звуковым источником. Испытуемые выполняли по две попытки, которые различались только типом зрительной обратной связи. В первом случае испытуемые фиксировали решетку из неподвижных относительно окружающей обстановки черных вертикальных линий длиной 20° на белом круглом фоне диамером 50°; во втором тот же стимул был укрепленного на ось гониометрической системы, удерживаемой испытуемым с помощью зубного слепка и поворачивающейся вместе с головой (см. рисунки 6.3 и 6.5). Таким образом, во время наклонов головы на глаз испытуемого либо поступала отрицательная обратная связь по ориентации, либо и такая обратная связь отсутствовала (стабилизация).

Серия натурных экспериментов

Эксперименты проводились во внутренней (закрытой) части плавучего стенда, т.е. визуальные ориентиры окружающей обстановки совпадали с ориентацией самого стенда. Создавали условия, когда стенд раскачивался из стороны в сторону либо без постоянной составляющей бокового крена (т.е. симметрично относительно гравитационной вертикали), либо в условиях постоянного крена. Испытуемые были зафиксированы ремнем в кресле с хорошей боковой поддержкой и должны были, глядя вперед на дисплей, либо совершать активные покачивания головой из стороны в сторону, либо

удерживать голову в статичном положении путем напряжения шейных мышц (пассивные наклоны головы вместе с туловищем), либо расслабить шейные мышцы, позволяя голове покачиваться под воздействием инерционных сил (непроизвольные наклоны головы).

Испытуемые

В лабораторных экспериментах приняли участие 4 испытуемых, в экспериментах на плавучем стенде — 5 испытуемых (все здоровые мужчины в возрасте от 29 до 40 лет).

Регистрация и анализ полученных данных

Электрические аналоговые сигналы от ТДГ, ротационных движений головы и боковых кренов стенда регистрировались на многоканальном магнитографе для последующего анализа. Каждой записи предшествовала калибровка всех каналов записи за исключением сигнала потенциометра, регистрирующего наклон стенда, который калибровался заранее. Кроме того, для визуального контроля и текущей документации получаемых показателей велась запись на бумажный самописец. Обработку полученных записей вели в оффлайновом режиме средствами аналоговой и цифровой вычислительной техники. Основной интерес представляли для нас амплитудные, частотные и временные характеристики координированной моторной активности человека в условиях гравитоинерционных воздействий.

6.3. Результаты

Голова и туловище неподвижны

На рисунке 6.6*а* видно, что спонтанные флуктуации ТДГ в условиях фиксации точки имеют характер нистагма с частотой 0.5–1 Гц и амплитудой 1.5–2°. Скорость медленной фазы нистагма (дрейф) находится в диапазоне 1–5°/с, а скорость быстрой фазы (скачки) оценена примерно в 20–40°/с при амплитуде 2°. По сравнению с обычным физиологическим фиксационным нистагмом (горизонтальная и вертикальная составляющие), его торсионная компонента имеет значительно более быстрый дрейф и более медленные

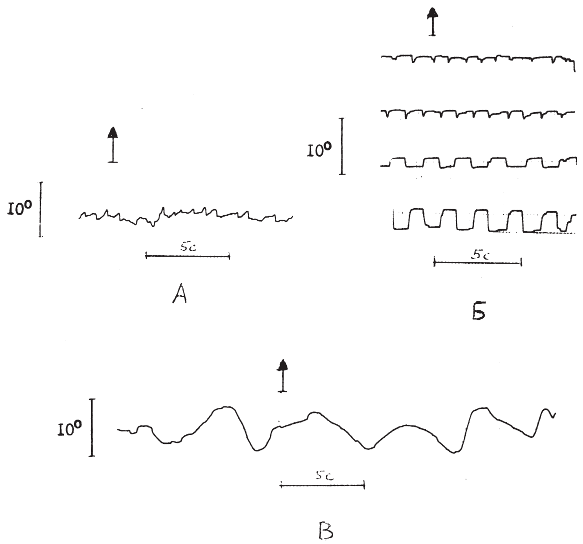


Рис. 6.6. Образцы записей ТДГ при фиксированной голове
а — при фиксации точки; *б* — при переводах взора между двумя точками (*сверху вниз*) — по диагонали вниз и по диагонали вверх, по горизонтали, по вертикали; *в* — при слежении за точкой, движущейся по круговой траектории. Здесь и далее: *стрелки указывают направление против часовой стрелки*

скачки, а также превышает его по амплитуде. Кроме того, торсионный нистагм имеет тоническую компоненту, т.е. глаз медленно вращается с частотой 0.1–0.2 Гц и амплитудой до 4–5°.

Диагональные скачки глаза между двумя третичными позициями в орбите имели характерную форму (рисунок 6.6*б*, две верхние кривые): она напоминала «пичок» с примерно одинаковыми фронтами. Интерпретация ее такова: вместе с плоскостной саккадой происходит торсионный доворот глаза до его ориентации в первичной позиции и последующий обратный разворот, возвращающий глаз к исходной ориентации. Такая динамика ТДГ соответствует предсказаниям закона Листинга (Ferman, Collewijn, Van den Berg, 1987a; 1987b). При перемещении взора по горизонтали зарегистрированы саккадоподобные изменения в торзии глаза амплитудой 1.5°. При таких же вертикальных перемещениях взора амплитуда торсионных саккад была выше и составляла около 4° (соответственно третья и четвертая

кривые на рисунке 6.6*б*). Это больше, чем предсказывает закон Листинга, и требует дальнейшего исследования.

При слежении за плавно движущейся точкой глаза совершали плавные торзионные колебания с удвоенной частотой вращения цели (рисунок 6.6*в*). Амплитуда таких ТДГ составляла 6–8°, а скорость их не превышала 10°/с. Плавные ТДГ сочетались с микросаккадами (амплитуда до 0.5°), возникавшими с частотой приблизительно 1 саккада в 2 с. Следует указать на довольно значительную внутри- и межиндивидуальную вариативность амплитуд и периодичности плавных следящих ТДГ. Однако сам факт существования плавных ТДГ подтверждает закон Дондерса (Howard, 1982).

Активные наклоны головы, корпус неподвижен

Записи ТДГ, вызванных активными наклонами головы из стороны в сторону, показывают, что контрвращения глаз никогда не компенсируют полностью наклона головы, т.е. их коэффициент усиления (отношение между углом вращения глаз и углом наклона головы) всегда < 1 (рисунок 6.7). Другими словами, при наклоне головы и неподвижном туловище происходит рассогласование между гравитационной вертикалью и ориентацией вертикального меридиана сетчатки. Были выявлены следующие закономерности ТДГ при активных наклонах головы:

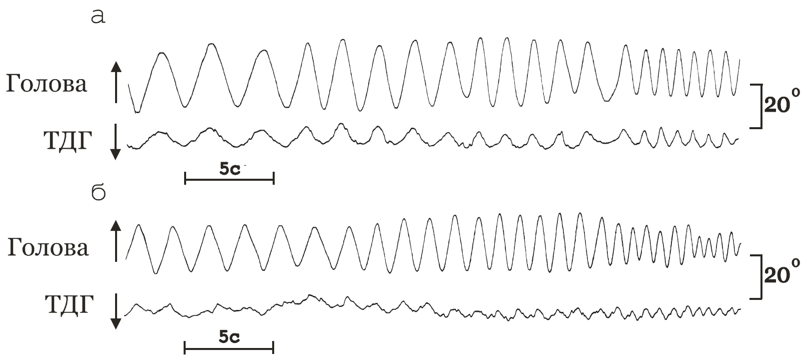


Рис. 6.7. Записи ТДГ при наклонах головы из стороны в сторону: а — ситуация со зрительной обратной связью по ориентации; б — ситуация без зрительной обратной связи по ориентации.

1. Противовращательный торзионный нистагм. В ответ на наклоны головы глаза совершали быстрые плавные контрвращения, нередко прерываемые кратковременными (на 200–300 мс) замедлениями, вплоть до изменения знака скорости на противоположный. Такой нистагмоидный характер ТДГ был особенно выражен при низких (0.3–0.7 Гц) частотах наклонов головы, тогда как при частоте 1.0 Гц и более ТДГ приобретали гораздо большую плавность. Сказанное относится как к условиям с отрицательной обратной зрительной связью (естественная визуальная среда), так и к условиям с нулевой зрительной обратной связью по ориентации (визуальная система отсчета поворачивается вместе с головой).

2. Коэффициент усиления ТДГ. Показано (рисунок 6.8, вверху), что при наличии зрительной обратной связи коэффициент усиления ТДГ возрастает от 0.19 до 0.38 с увеличением частоты наклонов головы от 0.3 до 1.1 Гц. В отсутствии зрительной обратной связи по ориентации коэффициент усиления ТДГ практически не увеличивался с частотой наклонов головы, оставаясь на уровне 0.15 — 0.2. Следует отметить, что разброс показателей коэффициента усиления для разных испытуемых был довольно велик, достигая 0.2. Внутрииндивидуальная же вариативность коэффициента усиления не превышала 0.1 при фиксированной частоте и амплитуде наклонов головы.

3. Фазовая задержка ТДГ (рисунок 6.8, внизу) показала следующую зависимость: при ритмических наклонах головы из стороны в сторону с амплитудой ±10–15° торзионные противовращения следовали практически без запаздывания при медленных частотах наклона, а при максимально быстрых — даже с опережением. Эта тенденция выражена чуть сильнее при стабилизации визуальной системы отсчета, по сравнению с естественными условиями.

Пассивные наклоны туловища, активные наклоны головы

Рисунок 6.9 демонстрирует общую динамику координированной двигательной активности туловища, головы и ТДГ при боковой качке с периодичностью в диапазоне 0.3–0.5 Гц и активных наклонах головы. Статичная составляющая крена не превышала 5°. Видно, что активные наклоны головы, несмотря на их произвольный характер, по большей части синхронизированы с пассивными наклонами туловища и следуют либо в фазе с ними, либо в противофазе. ТДГ четко синхронизированы с поворотами головы и всегда направ-

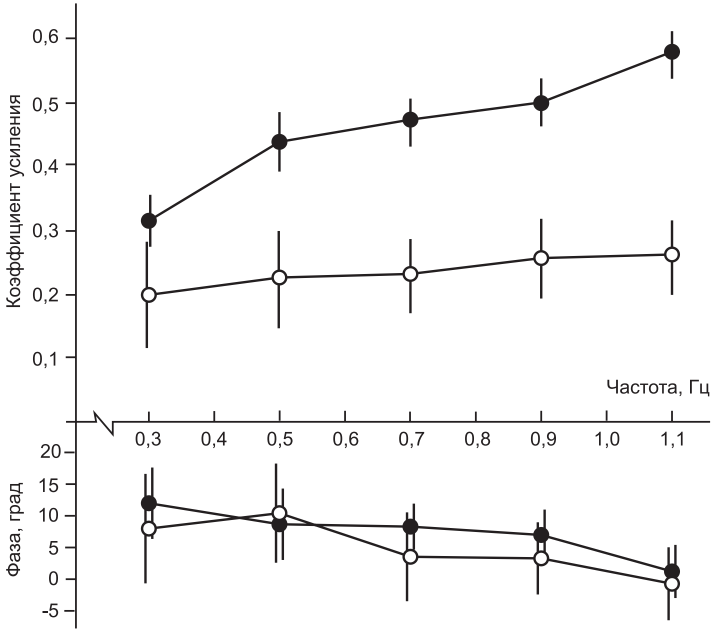


Рис. 6.8. Коэффициент усиления (вверху) и фазовая задержка (внизу) ТДГ при активных наклонах головы к плечу при наличии (темные кружки) и отсутствии (светлые кружки) зрительной обратной связи по ориентации. Усредненные данные по 4 испытуемым. Вертикальные линии показывают величину стандартного отклонения

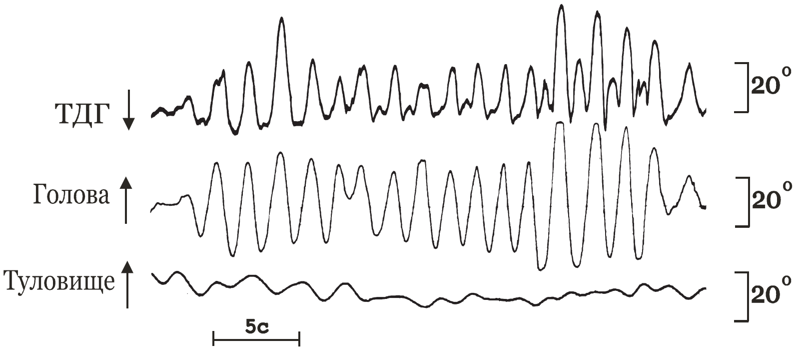


Рис. 6.9. Пример записи ТДГ при активных наклонах головы и пассивных наклонах туловища

лены в противоположную сторону. Хотя покачивания туловища вносят определенную нестабильность в плавность ТДГ, коэффициент их усиления не меняется каким-то систематическим образом и составляет, в среднем, 0.64±0.19. Амплитуда ТДГ тесно связана с амплитудой наклонов головы, достигая значений ±15°.

Пассивные наклоны туловища, голова фиксирована

Рисунок 6.10 показывает, что испытуемые вполне были способны справиться с поставленной задачей — фиксировать голову путем напряжения шейных мышц. Амплитуда боковых флуктуаций головы не превышала 2° при сохранении неизменной общей ориентации головы относительно оси туловища. Пассивные наклоны туловища для данного примера составляют 4–7°, их частота — 0.2–0.3Гц, при том что статическая компонента наклона достигала 10°. Противовращательные ТДГ отсутствовали — на записи виден только фиксационный торзионный нистагм амплитудой до 1°. Таким образом, гравитоинерционное воздействие, связанное с пассивным наклоном головы *вместе* с туловищем, не вызывало торзионного вестибулоокулярного рефлекса.

Пассивные наклоны туловища, непроизвольные наклоны головы

В том случае, когда на туловище оказывается квазипериодическое гравитоинерционное воздействие, голова, которая с биомеханической точки зрения представляет собой маятник, в отсутствии специальной задачи фиксации совершает непроизвольные компенса-

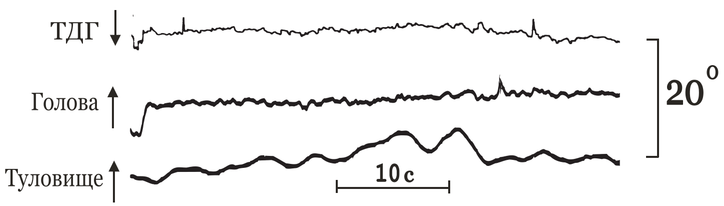


Рис. 6.10. Пример записи ТДГ при пассивных наклонах туловища и выполнении задачи фиксации объекта. Шея испытуемого напряжена для поддержки головы

ционные движения. Рассмотрим две ситуации: качание туловища относительно гравитационной вертикали и качание туловища в условиях наклонной оси качки (наличие статической компоненты крена).

В качестве иллюстрации первого случая рассмотрим записи на рисунке 6.11, где туловище раскачивалось из стороны в сторону с амплитудой примерно ±10°, а голова реагировала противовращением с той же амплитудой. Ритмика поворотов туловища и головы очень сходна, но не совпадает полностью; имеются случаи, когда на один цикл колебания туловища приходятся два колебания головы. Интерес представляют 2 крайних случая — наклон головы совпадает по направлению с пассивным поворотом туловища (фрагмент ***а***), или они движутся в противофазе (фрагмент ***б***). Если эти сигналы суммируются, то коэффициент усиления ТДГ должен, при прочих равных условиях, увеличиваться, когда они в фазе, либо уменьшаться, когда они в противофазе. Однако этого не происходит. На увеличенных фрагментах отчетливо видно, что ТДГ согласованы именно с колебаниями головы, но не туловища, а коэффициент усиления ТДГ существенно не меняется.

Другую ситуацию иллюстрирует рисунок 6.12. Здесь мы находим подтверждение вышеприведенному наблюдению, однако важно и то, что статические отклонения туловища вправо и влево на величину до 20° не находит отражение в торзии глаза; ТДГ компенсируют наклоны

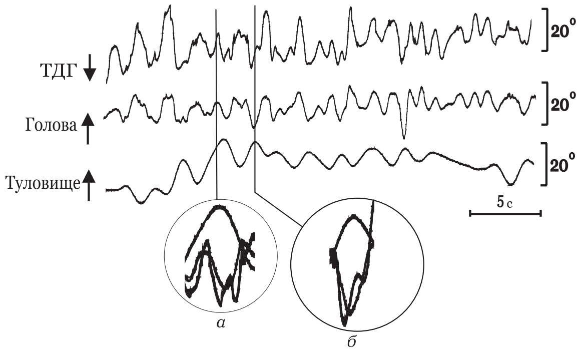


Рис. 6.11. Пример записи ТДГ при пассивных наклонах туловища и непроизвольных наклонах головы. Статическая компонента крена минимальна. *В кружках* — увеличенные фрагменты записи (суперпозиция 3 кривых в единой системе координат). Пояснения в тексте

головы относительно центральной оси туловища, а не относительно оси гравитации. Не наблюдалось какой-либо асимметрии ТДГ в зависимости от направления наклона туловища, что указывает на отсутствие вклада статической составляющей торзии. В среднем, коэффициент усиления ТДГ составлял для данных условий 0.74±0.14.

Пассивные наклоны туловища, голова свободна, задача рассматривания изображения на дисплее

Работа с изображением на экране дисплея в условиях качки приводила к непроизвольному напряжению шеи для удержания головы в относительно неподвижном положении относительно туловища и, соответственно, рассматриваемого изображения. Это хорошо видно на рисунке 6.13. Примечательно, что глаза не реагирова-

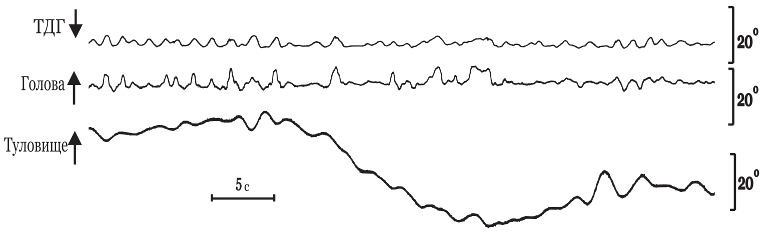


Рис.6.12. Пример записи ТДГ при пассивных наклонах туловища и непроизвольных наклонах головы. Статическая компонента крена достигает ±20°

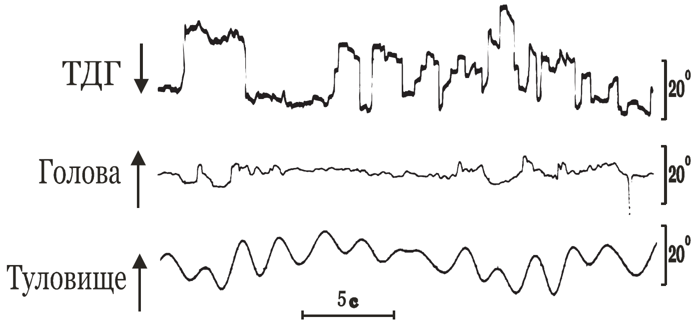


Рис. 6.13. Пример записи ТДГ при выполнении зрительной задачи на дисплее в условиях пассивных наклонов туловища и свободной голове

ли торзионным противовращением на выраженное гравитоинерционное воздействие с частотой около 0.5Гц, как это было и при фиксации объекта с напряженной шеей (см. рисунок 6.10). Различия между этими двумя ситуациями в том, что при рассматривании изображения глаза перемещались во вторичные и третичные орбитальные позиции, что отражалось в саккадоподобных торзионных движения глаз, как и в условиях без качки (см. рисунок 6.6).

6.4. Обсуждение результатов и выводы

Прежде всего, следует подчеркнуть, что в целом полученные результаты совпадают с литературными данными и частично расширяют их, доказывая тем самым высокую валидность разработанного нами фотоэлектрического метода регистрации ТДГ. Это касается прежде всего параметров ТДГ при поворотах во вторичные и третичные орбитальные позиции, которые находились в хорошем соответствии с законами Листинга (Ferman et al., 1987a, b). Высокая чувствительность примененного метода позволила впервые зарегистрировать фиксационный торзионный нистагм при неподвижной голове, что, впрочем, вполне прогнозируемо, имея в виду, что глазное яблоко управляется не только двумя парами прямых мышц, но и парой косых мышц, вносящих свой вклад в поддержание фиксированного положения глаза.

Кроме того, были подтверждены и частично уточнены литературные данные о кинематических характеристики противовращательных ТДГ при активных наклонах головы. Коэффициент усиления и фазовое запаздывание ТДГ показали зависимость от частоты наклонов головы. В естественных условиях наблюдения, т.е. при наличии зрительной обратной связи, изменение этой частоты с 0.3 до 1.1Гц вело к увеличению коэффициента усиления и уменьшению величины фазового запаздывания, вплоть до небольшого (5–10°) фазового упреждения на максимальных частотах (ср. Tweed et al., 1994; Vieville, Masse, 1987). Однако в том случае, когда зрительная обратная связь отсутствовала, значимого увеличения коэффициента усиления ТДГ с возрастанием частоты наклонов головы установлено не было. Можно предположить, что определенный вклад в эти различия вносит оптокинетическая стимуляция — Г. Бречер (Brecher, 1934), а, позднее,

Я. Ховард и В. Темплтон (Howard, Templeton, 1964) и Р. Крон (Crone, 1975) установили, что вращающийся во фронтальной плоскости сегментированный диск стимулирует торзионные повороты глаз в сторону вращения на величину до 6°, а А. Кертез и Р. Джонс (Kertesz, Jones,1969) продемонстрировали наличие зависимости между величиной торзии и скоростью вращения диска, а также количеством секторов на нем. Интересно также в этой связи сопоставить полученную в наших экспериментах величину коэффициента усиления противовращательных ТДГ на свету в условиях стабилизации структурированного диска (отсутствие зрительной обратной связи) с литературными данными о ТДГ в темноте. Действительно, было показано, что коэффициент усиления противовращательных ТДГ, зарегистрированных в полной темноте (Schmid-Priscoveanu et al., 2000), несколько ниже, чем при выполнении задачи фиксации тусклой световой точки (Vieville, Masse, 1987; Ferman et al., 1987). При этом следует подчеркнуть, что литературные данные о величине коэффициента усиления противовращательных ТДГ сильно различаются в зависимости от особенностей самого тестируемого индивида (межиндивидуальный разброс), амплитуды наклонов головы или тела, а также угловой скорости этих наклонов.

Принципиальные для понимания системы стабилизации взора относительно гравитационной вертикали результаты были получены в условиях, когда испытуемые подвергались квазипериодическим гравитоинерционным воздействиям. Нами установлено, что в условиях боковой качки с частотой 0.5–0.7 Гц и амплитудой до 10–15°, торзионные движения глаз компенсируют прежде всего наклоны головы относительно лонгитюдинальной оси туловища, а не суммарный вектор отклонения головы от гравитационной вертикали. Это справедливо как для активных наклонов головы, так и для условий, когда наклоны головы возникали как результат непроизвольной коррекции крена туловища. Даже когда такая коррекция была почти полной, т.е. голова оставалась относительно неподвижной в координатах внешнего пространства, ТДГ были направлены *против* наклонов головы в эгоцентрических координатах и коэффициент усиления ТДГ достигал значений 0.5–0.8 у разных испытуемых. Напротив, когда голова оставалась неподвижной в эгоцентрических координатах за счет напряжения шейных мышц и пассивно раскачивалась вместе со всем телом, противовращательные ТДГ практически отсутствовали. То же имело место и при задаче рассматривания изображения на экране монитора в условиях качки. Этот факт идет вразрез с данными Х. Крейчова с соавт. (Krejčová et al., 1971), показав-

шими равную эффективность наклонов всего тела и одной головы для инициации противовращательных ТДГ, однако наши условия имели одно существенное отличие — визуальные ориентиры наклонялись вместе с туловищем. Вспомним, что и в наших лабораторных экспериментах частичная стабилизация визуальных ориентиров при наклонах головы приводила к снижению коэффициента усиления ТДГ.

В этом контексте достойно упоминания еще одно наблюдение — отсутствие влияния статического компоненты крена на величину торзии. Взятые в целом, эти факты следует рассматривать как отражение сложного взаимодействия зрительной, вестибулярной, соматосенсорной и моторной систем в процессе получения достоверной информации о пространственных координатах внешнего мира и положения

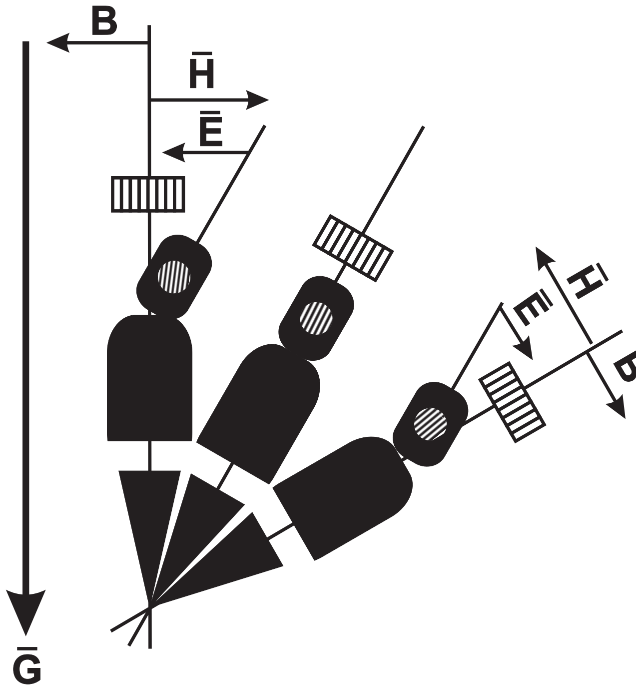


Рис. 6.14. Схема, иллюстрирующая координированную работу моторной системы стабилизации взора в условиях качки
G — вектор гравитации; B — вектор качки; H — вектор наклонов головы; E — вектор ТДГ; решетка — кабинная визуальная вертикаль

в нем самого наблюдателя. Суммируя, можно сказать, что испытуемые в условиях качки игнорировали постоянную составляющую крена и оценивали направление субъективной вертикали по усредненной за несколько периодов ориентации лонгитюдной оси туловища.

Другой вывод состоит в том, что ТДГ стремятся ориентировать окулоцентрическую систему отсчета в направлении текущей ориентации туловища или, что для наших условий идентично, в направлении кабинных ориентиров вертикальности. Точность стабилизации взора уменьшается при добавлении дополнительных степеней свободы из-за подвижности головы и сканирующих движений глаз (см. рисунок 6.14, где наглядно представлена моторная система стабилизации взора в условиях качки). В свой статье, озаглавленной «Новое решение проблемы субъективной вертикали», Хорст Миттельштадт (Mittelstaedt, 1983) предположил, что наряду со зрительной и вестибулярной информацией, в восприятии субъективной вертикали участвует и третья составляющая, а именно, тенденция смещать субъективную вертикаль в направлении лонгитюдной оси самого субъекта. Он обозначил эту тенденцию как «идиотропический вектор» и экспериментально показал, что не только зрительный, но и гаптический зенит смещается в направлении продольной оси тела на строго дозированную величину, подчиняясь законам сложения векторов. Нам представляется, что полученные в наших экспериментах результаты также можно рассматривать как подтверждение идеи Х. Миттельштадта.

Глава 7. ОПТИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ФИКСАЦИОННЫХ ПОВОРОТОВ ГЛАЗ

Смещения ретинального образа элементов среды во время движений глаз играют двоякую роль. С одной стороны, они обеспечивают зрительную обратную связь ГДС (реафферентацию окуломоторного акта), с другой — являются условием константности зрительного направления. Меняя сложившееся ретино-окуломоторное соответствие, исследователь получает возможность изучить особенности организации фиксационных поворотов глаз и их функции в зрительном восприятии.

7.1. Направление зрительной обратной связи

Допустим, нам удалось создать условия, при которых с отклонением глаз в направлении объекта фиксации A его проекция на сетчатке регулярно смещается в направлении $A + \gamma$, где $0° < |\gamma| < 180°$. Подобной ситуации соответствует функционирование ГДС с видоизмененным направлением зрительной обратной связи; экстремальное значение $|\gamma| = 180°$ отвечает условию положительной обратной связи. Сохранится ли в этом случае возможность стабилизации взора? Если да, то с помощью каких окуломоторных структур? Будет ли выполняться фиксационный поворот глаз? Если да, то как? Повлияют ли указанные преобразования на константность зрительного направления? Если да, то при каких зачениях γ? Изменится ли стратегия решения привычных зрительных задач? Если да, то каким образом?

Априори ответы на эти вопросы могут быть получены с двух крайних позиций.

Если исходить из функциональных представлений о природе окуломоторной активности, допускающих гибкие изменения внутрисистемных отношений в зависимости от условий восприятия, то нетрудно предположить, что несоответствие зрительной реафферентации акцептору результатов действия выльется в цепь последовательных корректировок программы поворота глаз, критериев ожидаемого результата, вектора готовности окуломоторного аппарата, а также способа интеграции исходных предпосылок движения, которые и обеспечат адекватное выполнение фиксационного поворота. В этом случае и константность зрительного направления, и привычная стратегия решения зрительных задач сохранятся, за исключением, вероятно, короткого переходного периода, отражающего момент реорганизации функциональной системы фиксационного акта. По-видимому, продолжительность и экстенсивность окуломоторных модификаций являются прямой функцией $|\gamma|$.

Если же исходить из представлений о жесткой морфо-физиологической организации ГДС, полагая, в частности, что фиксационный поворот глаз на целевой стимул однозначно определяется рассогласованием локализации ретинального образа с fovea centralis[4], то можно ожидать ряд устойчивых преобразований глазодвигательной активности, зависящих от значения $|\gamma|$. Согласно расчетам (рисунок 7.1) при $|\gamma| > 0$ фиксационный поворот будет состоять из цепочки прерываемых дрейфом разнонаправленных саккад, траектория которых напоминает скручивающуюся спираль; с увеличением $|\gamma|$ число саккад, витков спирали скорость дрейфа и продолжительность фиксационного поворота будут увеличиваться.

При некотором критическом значении $|y_K|$ ($|\gamma_{KS}|$) = 60° для саккад и $|\gamma_{kd}|$ = 90° для дрейфов) устойчивая фиксация окажется невозможной, а глаз станет перемещаться вокруг целевого стимула. Дальнейшее увеличение $|\gamma|$ вызовет появление движений, траектория которых представляет раскручивающуюся спираль, постепенно переходящую в дугу ($|\gamma| > 135°$); посредством возрастающих по амплитуде саккад и ускоряющегося дрейфа глаз будет удаляться от целевого стимула и в итоге займет одно из предельных положений в орбите. Наконец, при $|\gamma|$ = 180° глаза должны перемещаться в направлении, диаметрально противоположном локализации ретиналь-

4 Обоснование этого положения дано в других работах (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Robinson, 1971).

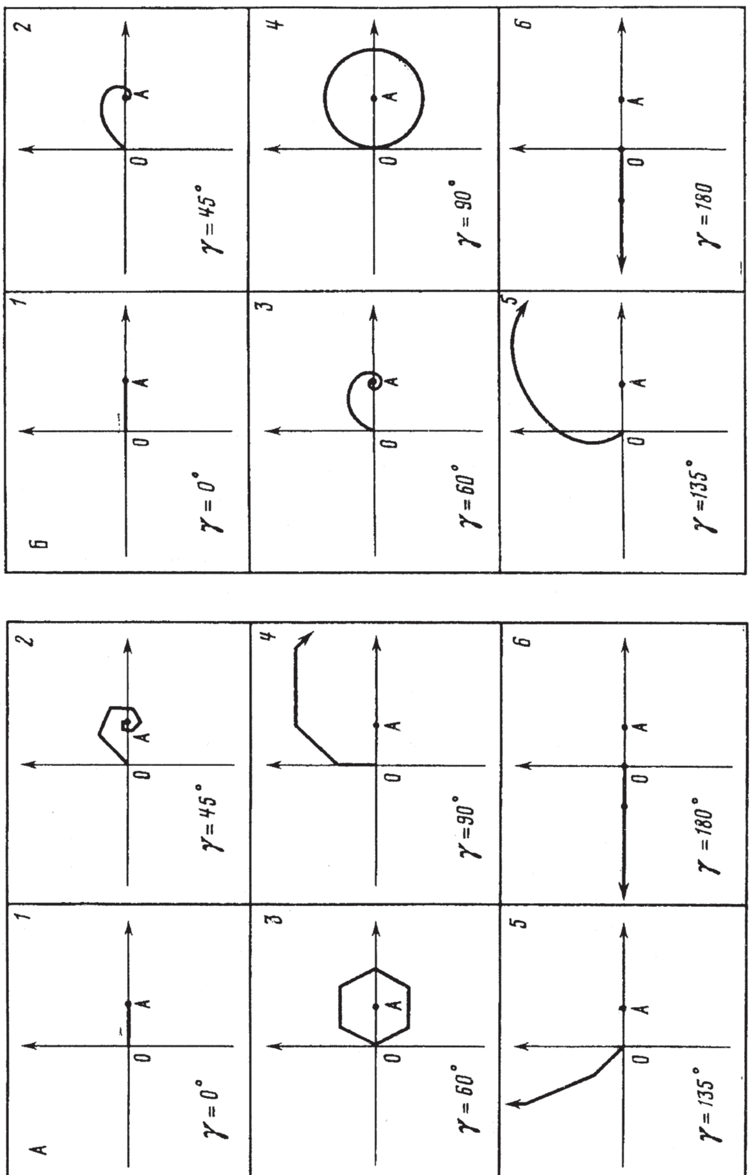


Рис. 7.1. Расчеты траектории целенаправленных поворотов глаз, выполненные посредством саккад (А) и дрейфа (Б) (для различной ориентации системы координат сетчатки [γ])

ного образа целевого стимула, причем с возрастающей скоростью; предельная позиция достигается здесь наиболее быстро.

Согласно расчетным данным, выполнение фиксационных поворотов посредством ускоренного дрейфа (если это вообще возможно) превышает критическое значение $|\gamma_{KS}|$ на 30°. Иначе говоря, в столь неординарных условиях дрейф в большей степени содействует выполнению двигательной задачи. Во время комбинированных поворотов, включающих и дрейфы, и саккады, $|\gamma_K|$ должно, по-видимому, находиться между 60–90°, а степень искажения траектории движений уменьшится. При $|\gamma| < 90°$ дрейф будет усиливать приближение глаза к объекту фиксации, а при $|\gamma| > 90°$ — ослаблять удаление. Достигнув рубежа, ограничивающего естественные повороты, глаз либо остановится (вынужденная внешняя фиксация), либо будет совершать малопрогнозируемые плавные и саккадические движения в области морфологической границы окуломоторного поля.

Нарушения константности зрительного направления наиболее полно предсказываются эфферентными моделями. Согласно этим моделям, при монотонном увеличении $|\gamma|$ стабильность видимого мира сохраняется до некоторого порогового значения $|\gamma_0|$. Как показали У. Уиппл и Т. Уаллах (Whippl, Wallach, 1978), а также А. Мэк (Mack, 1970), $|\gamma_0|$ зависит от направления саккады и относительного направления смещения движущегося объекта. Для горизонтальных и вертикальных саккад $|\gamma| = 9.2–14.2°$, для наклонных (45°, 135°, 225°, 315°) саккад и наклонных же перемещений объекта $|\gamma|$ возрастает в два раза: до 21–26°. Примерно такое же значение $|\gamma_0|$ может быть вычислено на основе данных об ошибочной локализации тахистоскопически предъявляемого объекта непосредственно до, после и во время целенаправленных саккад (Matin, 1972; Monahan, 1972; Hill, 1972; Morgan-Paap, 1974; Pola, 1976; см. также: Логвиненко, 1981). При $|\gamma| > |\gamma_0|$ монотонное увеличение $|\gamma|$ будет сопровождаться переживанием движения объективно неподвижной среды с монотонно возрастающей скоростью и направлением ошибочной локализации. Общее правило, которому подчиняется кажущееся движение,— сложение векторов, один из которых соответствует «эфферентной копии» (или экстраретинальному сигналу), второй — смещению изображения объектов по сетчатке. Для $|\gamma| = 180°$ воспринимаемая скорость движения объектов окажется равной удвоенной скорости перемещения глаз, а его направление — перпендикулярным вектору окуломоторной активности. С точки зрения постулатов концепции непосредственного восприятия (Гибсон, 1988; Gibson,

1966, 1968), можно ожидать иной перцептивный исход: стабильное восприятие внешней среды во время саккад и впечатление самодвижения наблюдателя во время плавных поворотов глаз. По-видимому, чем выше скорость плавных движений, тем выше будет скорость кажущегося эго-движения (вращения), причем направление последнего будет соответствовать направлению смещения проекции окружающих объектов по сетчатке. В любом случае появление необычных окуломоторных структур и переживаний движения должны отразиться на стратегии и тактике решения зрительных задач; по крайней мере, в виде увеличения продолжительности выполнения тестовых заданий.

К сожалению, экспериментальных исследований ГДС с трансформированным направлением зрительной обратной связи ($0° < |\gamma| < 180°$) почти не проводилось. Исключение составляют работы А. Мэк (Mack, 1970) и У. Уиппла и Т. Уаллаха (Whipple, Wallach, 1978), в которых $|\gamma|$ изменялось от 0° до 26°. Однако в их экспериментах одновременно с направлением менялась и величина зрительной обратной связи ($0 < K_{об} < 0.4$), что, безусловно, маскировало возможные преобразования окуломоторной активности. Кроме того, основной акцент этих исследований делался не на способе организации движений глаз, а на порогах восприятия движения.

Значительно лучше изучены особенности движений глаз при изменении знака зрительной обратной связи ($|\gamma| = 180°$). И. Доссшат (Doesschate, 1954) был, по-видимому, первым, кто зарегистрировал окуломоторную активность в столь необычных условиях. Он нашел, что при фиксации элементов энтоптичекого образа, вызванного удаленным источником света, на пути которого устанавливается комбинация из двух положительных линз (силой 40 диоптрий), имеет место непроизвольный маятникообразный нистагм с амплитудой около 30° и частотой 0.42–0.77 Гц. «Нистагм центра вращения» — так И. Доссшат назвал обнаруженную разновидность глазодвигательной активности — имеет эллиптическую форму, вытянутую у разных испытуемых либо по горизонтали, либо по вертикали, и сохраняется в течение всего времени наблюдения энтоптического образа. По мнения И. Доссшата, крупноамплитудные колебания глаз связаны с разрушением тонкого и надежного в обычных условиях фиксационного рефлекса и с высвобождением более примитивного механизма управления движениями, навязывающего им собственный индивидуальный ритм.

Испытуемые Дж. М. Хедлуна и К.Т. Уайта (Hedlnn, White, 1959) фиксировали роговичное отражение (блик) неподвижной лампочки,

которое они воспринимали на поверхности сферического зеркала. В этих условиях величина и знак зрительной обратной связи ГДС выступают как функция расстояния между глазом и зеркалом. Согласно полученным данным, при положительной зрительной обратной связи наблюдаются не только крупноамлитудные синусоидальные колебания, но и пилообразный нистагм с частотой 3–10 Гц. Амплитуда колебаний имеет монотонно возрастающий характер: они начинаются с незначительных осцилляции, которые увеличиваются до тех пор, пока роговичный блик не исчезает за пределами зеркала; возможно совмещение обеих форм глазодвигательной активности, произвольная остановка и инициация движений. Во всех случаях, когда в зрительном поле появляются неподвижные объекты, специфические окуломоторные структуры исчезают.

Л. Риггс и С. Тулуней (Riggs, Tulunay, 1959), используя метод оптических рычагов (рисунок 7.2), подтвердили существование синусоидальных колебаний глаз с относительно устойчивой высокой амплитудой и низкой частотой ($К_{об}$ = +1).

Развернутое исследование на основе сходной методики выполнено Д. Фендером и П. Наем (Fender, Nye, 1961). Они показали, что нестабильность окуломоторной системы проявляется при коэффициенте усиления обратной связи ($К_{обр}$) =+0.3, причем маятнообразный

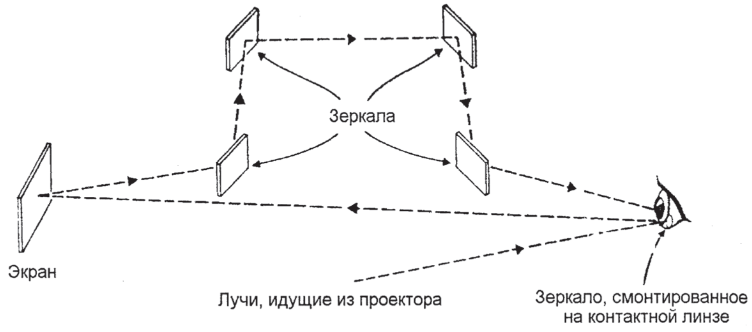


Рис. 7.2. Схема метода «оптических рычагов» (Riggs, Tulunay, 1959). Сфокусированный луч проектора отражается от зеркальца, укрепленного на глазу испытуемого, и проецируется на экран, откуда с помощью системы зеркал, изменяющих длину пути луча от экрана до глаза, попадает на сетчатку; относительная длина последнего определяет величину и знак зрительной обратной связи ГДС

нистагм возникает при попытке фиксировать световое пятно. Авторы отмечают, что после соответствующей практики можно добиться стабилизации взора, но только для $К_{обр} < +1$. При ($К_{обр} > +1$) амплитуда синусоидальных колебаний уменьшается, но их частота остается без изменений (0.4–0.6 Гц).

В экспериментах А.Л. Ярбуса (1959, 1965) ретино-окуломоторное соответствие нарушалось при помощи зеркальца, укрепленного на центральной присоске под углом 135° к фронтальной плоскости. Благодаря данному устройству, объекты, расположенные сбоку, воспринимаются инвертированными вдоль одной из осей оптической системы координат и локализованными во фронтальной плоскости. В этих условиях также наблюдаются крупноамплитудные плавные синусоидальные (эллиптические) колебания, которые продолжаются в течение всего опыта. При предъявлении объекта, движущегося с постоянной скоростью, его прослеживание всегда происходит с ускорением, вплоть до выхода воспринимаемого объекта за пределы поля зрения. В обеих ситуациях испытуемые лишаются возможности произвольного управления движениями глаз: выбора объекта фиксации, контроля скорости и амплитуды их перемещения.

Согласно данным А.Р. Шахновича (1965), который также применил методику с наклонным зеркальцем, после некоторой тренировки фиксация неподвижной светящейся точки в темноте оказывается возможной (рисунок 7.3).

Этот процесс занимает 1.5–2 минуты и проходит ряд стадий. Сначала возникают синусоидальные колебания с амплитудой около 30° и частотой 0.3–0.4 Гц; затем они начинают прерываться саккадами — появляется нистагм (средняя амплитуда 8–10°, частота — 4 Гц), амплитуда которого постепенно уменьшается; и, наконец, нистагм переходит в малоамплитудный дрейф, обеспечивающий стабилизацию взора. Характеристики зарегистрированных движений глаз в описанных условиях полностью соответствуют параметрам синусоидальных и пилообразных колебаний, наблюдаемых в исследованиях И. Доссшата, Дж. Хедлуна и К.Т. Уайта.

Неконтролируемые крупноамплитудные колебания глаз были описаны Я. П. Ховардом при изучении вергентно-фузионного механизма (Howard, 1969, 1970). Устанавливая на оба глаза (с помощью контактных линз) призмы Дове (рисунок 7.4), инвертирующие как ретинальные изображения, так и знак зрительной обратной связи ГДС, он показал невозможность в этих условиях фузии и стереопсиса. Лишь один из его испытуемых после продолжительной трениров-

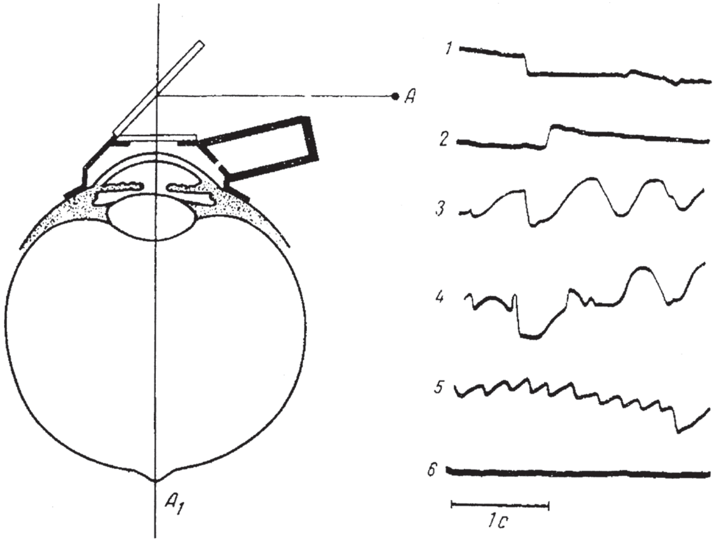


Рис. 7.3. Электроокулографическая запись движений глаз при фиксации неподвижной точки через зеркальце, укрепленное на глазном яблоке (3, 4, 5, 6). Калибровка смещений глаза на угол 15° без зеркальца (1, 2). Слева — схема присоски, дающей зеркальное изображение окружающих предметов на сетчатке. А — фиксационная точка; A_1— проекция фиксационной точки не сетчатке (Шахнович, 1974)

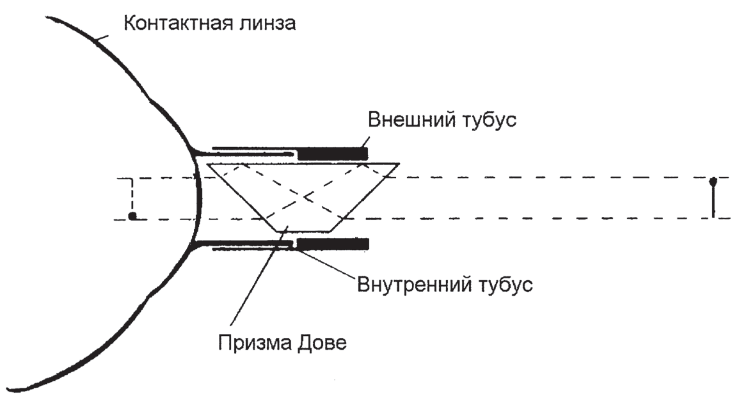


Рис. 7.4. Инверсия зрительной обратной связи с помощью призмы Дове, устанавливаемой на контактной линзе (Howard, 1970)

ки оказался способным произвольно контролировать колебания глаз и устойчиво фиксировать хорошо освещенные объекты.

Анализ глазодвигательной активности в условиях положительной зрительной обратной связи ГДС выполнен В.А. Барабанщиковым (Барабанщиков, 1978, 1979; Барабанщиков, Зубко, 1980; Барабанщиков, Белопольский, 1984). Используя, как и Я.П. Ховард, миниатюрные призмы Дове, он зарегистрировал несколько регулярно повторяющихся типов окуломоторных структур», которые возникают при монокулярной инверсии зрительной обратной связи ГДС (рисунок 7.5).

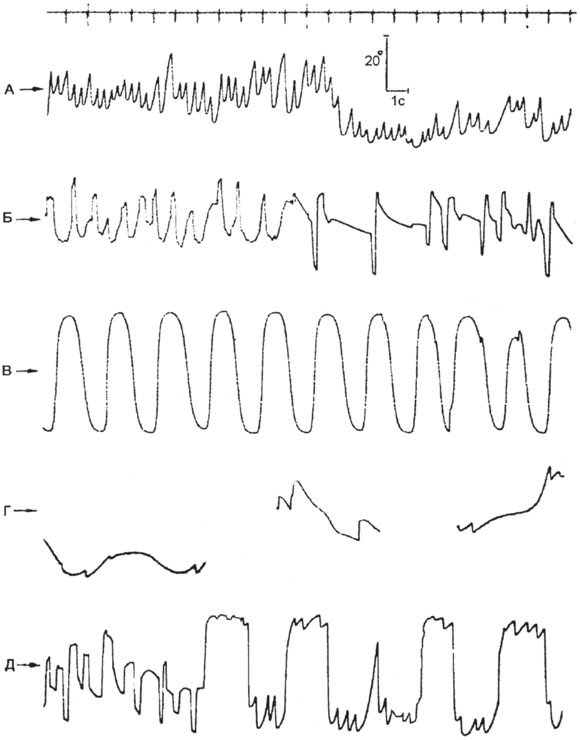


Рис. 7.5. Окуломоторные структуры, возникающие при инверсии зрительной обратной связи ГДС. А — инверсионный нистагм, Б — паранистагм, В — синусоидальные колебания, Г — медленые апериодические повороты, Д — отдельные саккады и П-образные структуры. Стрелки указывают позицию покоя глаза. (Барабанщиков, 1978)

1. Инверсионный нистагм — периодическое последовательное чередование плавного и саккадического компонентов окуломоторной активности, направленные в противоположные стороны. Амплитуда нистагма варьирует в диапазоне от 2° до 40° (M = 6.6°; SD = 2.8°). Скорость медленной фазы доходит до 60–70°/с. Частота меняется от 0.25 до 6 Гц (т = 2.3 Гц).

В некоторых случаях строгий пилообразный характер движений нарушается, а циклы нистагма приобретают более сложную структуру (паранистагм). Частота и амплитуда этих движений находятся в диапазоне соответствующих параметров инверсионного нистагма.

2. Плавное скольжение глаз двух типов: а) синусоидальные колебания низкой частоты (0.25–0.8 Гц; M = 0.45 Гц) и большой амплитуды (до 50–60°; M = 39.2°; SD = 2.9); б) медленные (1–20°/с) апериодические повороты глаз продолжительностью в несколько секунд.

3. Отдельные саккады амплитудой до 20–25° на фоне ускоренного дрейфа, сопровождающие, как правило, произвольный перевод взора из одной позиции в другую. По своим динамическим характеристикам они напоминают обычные саккады, но не приводят к резкой остановке глаза, переходя в синусоидальные колебания или медленную фазу нистагмоидных движений.

Перечисленные структуры ориентируются вдоль оси инверсии (по существу, в экспериментах А.Л. Ярбуса, А.Р. Шаховича, Я.П. Ховарда и В.А. Барабанщикова изучалось влияние вырожденной, или частичной, инверсии знака зрительной обратной связи), возникают независимо от содержания тест-объекта и допускают суперпозицию (рисунок 7.6).

Условием появления той или иной окуломоторной структуры является тип отношения наблюдателя к визуальной ситуации и отвечающий ему способ восприятия. Активное отношение, реализующее наиболее привычный способ восприятия (вопреки непроизвольным смещениям зрительного поля и невозможности стабилизировать взор) является условием инверсионного нистагма и паранистагма; созерцательное (решение зрительной задачи без интенции изменить необычную ситуацию) — условием синусоидальных колебаний; индифферентное (имеет место при решении незрительных задач) — плавных апериодических движений. Меняя либо сохраняя наличное отношение к воспринимаемому, наблюдатель получает возможность контролировать тип и отдельные параметры окуломоторных структур.

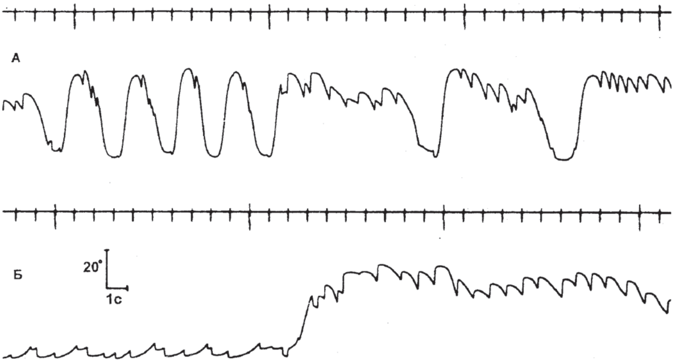


Рис. 7.6. Суперпозиция синусоидальных и нистагмоидных колебаний (А) и изменение направления инверсионного нистагма в противоположных зонах поля зрения (Б)

Факт нарушения стабильности восприятия в условиях положительной зрительной обратной связи ГДС отмечается практически всеми исследователями. Наиболее отчетливо он выявляется при использовании наклонных зеркал и призм Дове. В этом случае любые неподвижные объекты, попадающие в поле зрения наблюдателя, воспринимаются движущимися, причем тип воспринимаемого движения непосредственно зависит от типа окуломоторной активности.

Проведенный обзор исследований показывает не только слабую изученность рассматриваемой предметной области, но и рассогласование эмпирических данных с концептуальными ожиданиями (по крайней мере, для экстремального значения $|\gamma| = 180°$). В условиях положительной зрительной обратной связи ГДС ни устойчивая фиксация (за небольшим исключением), ни целенаправленный поворот глаз не выполняются; их заменяет набор необычных окуломоторных структур: инверсионный нистагм, паранистагм, синусоидальные (затухающие, незатухающие, монотонно возрастающие по амплитуде) и апериодические колебания. Константность зрительного направления действительно нарушается, но так, что характеристики воспринимаемого движения соответствуют параметрам движений глаз. Наконец, в континууме зрительных задач затруднения возникают лишь там, где требуется развернутое решение. Складывается впечатление, что ожидаемые искажения значительно смягчены, а организация окуломоторной активности на основе положительной зрительной обратной связи больше соответствует расчетным значениям $|\gamma| < 90°$.

Для того чтобы прояснить роль и степень влияния внутренних детерминант фиксационного поворота глаз (в частности, ретиноокуломоторного соответствия), обратимся к специальному исследованию, в котором направление зрительной обратной связи ГДС выступает как основная независимая переменная.

7.2. Варьирование ориентации оптической системы координат

Выполненное исследование базируется на идее модификации оптических свойств глаза путем использования ротатоскопа — оптического устройства, преобразующего ориентацию изображения предмета. Рататоскоп состоит из двух призм Дове, последовательно преломляющих отраженные от предмета лучи света (рисунок 7.7).

Каждая из призм инвертирует изображение вдоль оси, параллельной основному сечению; их совокупный эффект — вращение (изменение ориентации) изображения относительно центральной оси. Монотонное вращение призм относительно друг друга в диапазоне $-90° \leq \alpha \leq 90°$ сопровождается последовательным изменением ориентации изображения предмета (γ) от $-180°$ до $180°$.

Устанавливая ротатоскоп непосредственно на глазное яблоко перед зрачком испытуемого исследователь получает возможность:

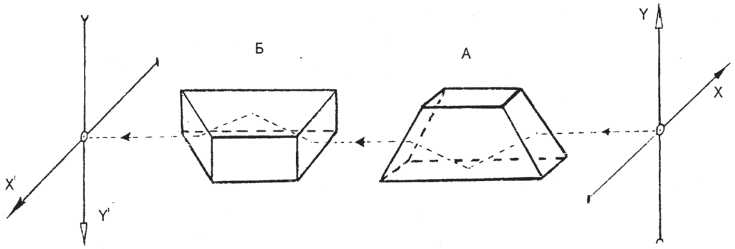


Рис. 7.7. Принципиальная схема ротатоскопа. А, Б — разноориентированные призмы Дове, X0Y — система координат объекта; X'OY — система координат изображения объекта, стрелки указывают направление лучей света

1) изменить естественную ориентацию проксимальной стимуляции по отношению к дистальной на угол $-180° < \gamma < 180°$; при этом преобразованию оптической системы координат сетчатки соответствует вращение оси полярной системы координат зрительного поля на такой же угол (γ);
2) варьировать направление смещения ретинального образа предмета относительно направления поворота глаз в диапазоне $-180° < \gamma < 180°$; в результате подобной процедуры изменяется направление зрительной обратной связи ГДС и возникает рассогласование ориентации оптической, окуломоторной и эгоцентрической систем координат. В отличие от оптической и окуломоторной, эгоцентрическая система координат определяет положение зрительно воспринимаемого предмета относительно головы наблюдателя; точкой отсчета выступает направление «прямо — перед головой», отличное (в общем случае) от направления центральной оптической оси (рисунок 7.8).

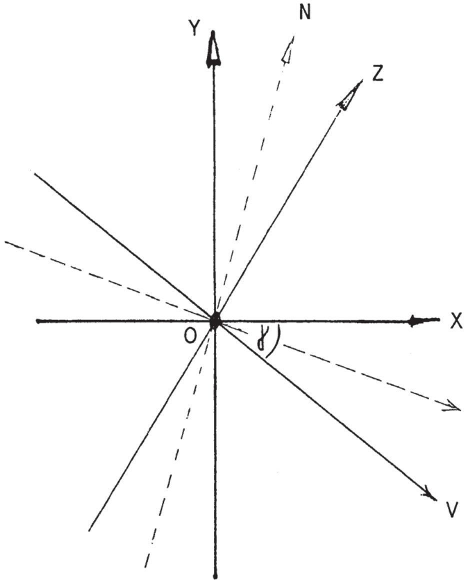


Рис. 7.8. Соотношение эгоцентрической (X0Y), оптической (M0N) и окуломоторной (V0Z) систем координат при $\gamma \neq 0$

Структура проксимальной стимуляции и, соответственно, структура зрительного поля, при данных трансформациях не нарушаются.

Каждое из условий неоднократно использовалось в качестве самостоятельного методического приема.

Так, «перевертывание» (полное или частичное) ретинального образа достаточно часто применяется в хронических исследованиях перцептивного научения (Логвиненко, 1976, 1981; Kohler, 1964; Stratton, 1897). Необходимые трансформации обеспечиваются здесь специальными оптическими устройствами (линзами, зеркалами, призмами), укрепленными неподвижно относительно головы испытуемого (рисунок 7.9)

Адаптация к наклону зрительного поля изучается в ситуации, которая предполагает восприятие среды через окуляр ротатоскопа (рисунок 7.10), вмонтированного в каркас экспериментальной установки (Ebenholtz, 1966; Over, 1966; Austin, Singer, Wallace, 1974).

Ориентации сетчаточного изображения может быть изменена и через канал видеосвязи, когда, например, перемещения рук испытуемого снимаются телевизионной камерой и экспонируются ему на экране дисплея под тем или иным углом наклона (Smith, Smith, 1962; Hershberg, Carpenter, 1972; Mc Inture, Pick, 1986). Однако во всех этих исследованиях преобразования ретинального образа, хотя и нарушают зрительно-моторную координацию в целом, оказываются относительно индифферентными к выполнению фиксационного поворота глаз: привычный способ функционирования ГДС сохраняется. По сути дела, реориентация сетчаточного образа в описанных условиях отражает трансформацию свойств внешней оптической среды или объемлющего наблюдателя «оптического строя» (Гибсон, 1988), а не самого глаза; меняет эгоцентрическое, но не окулоцентрическое зрительное направление (Shebilske, 1978); вызывает иную геометрию движения по сетчатке по сравнению с тем случаем, когда инвертирующее устройство крепится на самом глазу.

Как уже отмечалось, варьирование отношений между направлением поворота глаз и направлением смещения ретинального образа является одним из приемов исследования глазодвигательной системы. Чаще всего он реализуется путем разбалансирования плеч «оптических рычагов» или электронного управления позицией зрительного стимула, детерминированного позицией глаз (Riggs, Tulunay, 1969; Fender, Nye, 1961; Mack, 1970; Vossious, 1972). Однако обе эти методики ограничены в возможности экспонировать сложные зрительные паттерны и предполагают реальное движение тест-объекта

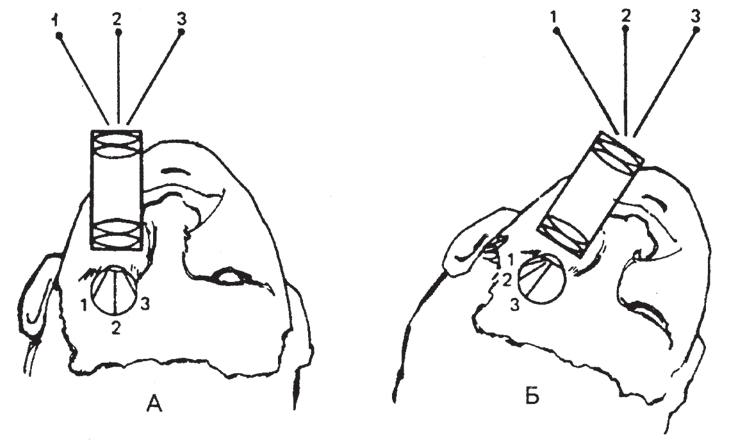


Рис. 7.9. Перемещение инвертирующего оптического устройства (система линз) вместе с поворотом головы наблюдателя. Зрительно-окуломоторная связь остается неизменной (Рок, 1980)

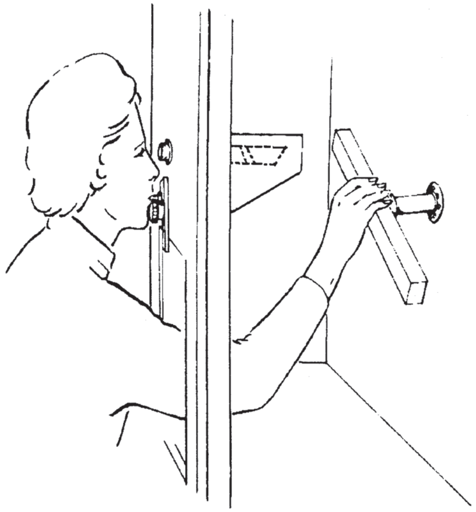


Рис. 7.10. Изучение зрительно-двигательных координации человека с помощью ротатоскопа (Austin, Singer, Wallace, 1974)

во время поворота глаз. Поэтому вопросы, касающиеся особенностей решения зрительных задач и проявлений константности зрительного направления, уходят здесь как бы на второй план.

Таким образом, метод, основанный на модификации (с помощью ротатоскопа) оптических свойств глаза, синтезирует две методические линии, которые исторически развивались независимо друг от друга, причем довольно продуктивно. Первая делает акцент на изучении закономерностей зрительного восприятия, вторая — на выявлении механизмов регуляции движений глаз. Снимая ряд ограничений, свойственных прототипам, предлагаемый метод 1) обеспечивает строгий контроль направления зрительной обратной связи ГДС; 2) позволяет экспонировать испытуемым любые (в пределах поля зрения) тест-объекты; 3) может быть использован при моно- и бинокулярном восприятии; 4) дает возможность вести независимую регистрацию движений глаз и 5) допускает манипулятивную и поведенческую активность испытуемого.

В наших экспериментах миниатюрный ротатоскоп (с помощью центральной присоски) устанавливался на анастезированное глазное яблоко испытуемого таким образом, чтобы оптическая ось прибора совпадала с центральным (окулоцентрическим) зрительным направлением. Каждая из призм Дове крепилась в отдельном тубусе, вращение которого позволяло изменять наклон плоскости главного сечения и, соответственно, задавать любое значение угла вращения оптической системы координат ($-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$). С внешней стороны рабочие поверхности призм покрывались серебряной фольгой, обеспечивающей высокий коэффициент отражения. Для формирования максимально четкого изображения центральная присоска снабжалась диафрагмой. Искусственная оптическая система позволяла воспринимать элементы среды в поле зрения около 30° (рисунок 7.11).

Движения глаз — горизонтальная и вертикальная составляющие — регистрировались электромагнитным способом на установке, сконструированной Н.Ю. Вергилесом (Зинченко, Вергилес, 1969; Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Барабанщиков, Белопольский, Вергилес, 1978). Катушка-излучатель, создающая переменное электромагнитное поле, крепилась к той же присоске, на которой устанавливался ротатоскоп.

Наряду с реориентацией ретинального образа и изменением направления зрительной обратной связи ГДС (абсолютные значения γ варьировались от 0° до 180° с шагом 15°) в состав независимых переменных (детерминант) входила задача, выполняемая испытуемым

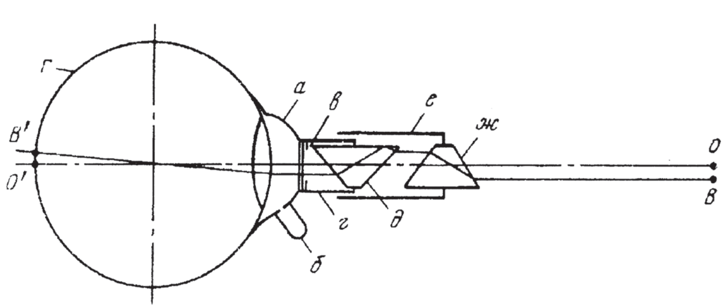


Рис. 7.11. Схема метода изменения ориентации оптической системы координат глаза человека: Г — глазное яблоко, О'В' — проекция предмета на сетчатке; а — корпус присосоки, б — баллончик для отсоса воздуха, в — внутренний тубус, д — внешний тубус, ж — внешняя призма Дове, ОВ — предмет восприятия

(перевод взора с одного точечного элемента на другой и его устойчивая фиксация, перцептивный анализ сюжетных изображений и некоторые другие). Зависимые переменные: 1) двигательный состав и структура фиксационного поворота глаз; 2) константность зрительного направления, 3) способы выполнения перцептивных и окуломоторных задач.

В качестве тест-объектов использовались: а) белый картонный круг (диаметром 10°), внутри которого были нанесены две черные точки (диаметром по 20'), удаленные друг от друга на расстояние 5°; б) набор контрастных черно-белых и цветных сюжетных изображений (10°х10° и 10°х15°). Тест-объекты укреплялись на расстоянии 65 см от правого глаза испытуемого. Сюжетные изображения всегда поворачивались на угол, противоположный углу вращения оптической системы координат ($-\gamma$) и воспринимались правильно ориентированными. Точечные объекты ориентировались таким образом, что воспринимались либо вертикально, либо горизонтально.

В зависимости от содержания тест-объекта от испытуемого требовалось: 1) попеременно переводить взор с одной точки на другую или устойчиво фиксировать одну из точек, 2) раскрыть сюжет или найти заданный элемент (персонаж) сложного изображения. Задания давались в псевдослучайном порядке. Время экспозиции тест-объектов не ограничивалось. В ходе опыта испытуемые могли получать дополнительные задания, инициирующие определенный способ

восприятия или отношение наблюдателя к выполнению задания (концентрацию или распределение внимание, сосредоточенность или релаксацию и т.п.).

После завершения опыта испытуемые давали отчет об особенностях зрительно воспринимаемых сцен (сохранялась ли стабильность восприятия, как проявлялось восприятие движения и т. д.), характере решения перцептивных задач (степени трудности, используемых стратегиях и т.п.) и переживаемых во время эксперимента состояниях.

Первоначально установленное значение угла вращения (γ) сохранялось до конца опыта, продолжающегося 25–30 минут.

В экспериментах приняли участие шестеро мужчин с нормальным или корректируемым до нормального зрением в возрасте 26–40 лет.

Пространственная (двухкоординатная) запись траектории движений глаз соотносилась с действительной и воспринимаемой локализацией (перемещением) тест-объекта. Выборочно оценивались: среднее направление саккад и дрейфа, относительная амплитуда саккад и продолжительность фиксационного поворота глаз ($0° < \gamma < 120°$), средняя скорость плавных перемещений глаз и амплитудно-частотные характеристики сложных паттернов окуломоторной активности ($135° \leq \gamma \leq 180°$). Отчеты испытуемых о характере воспринимаемых сцен и особенностях решения задач для каждого γ соотносились с соответствующим типом и параметрами движений глаз.

7.3. Окуломоторная активность как функция направления зрительной обратной связи

Рассмотрим полученные данные в порядке возрастания абсолютного значения угла поворота оптической системы координат сетчатки ($|\gamma|$).

$|\gamma| = 0°$ — условие обычного восприятия. Перевод взора с одного точечного элемента на другой сопровождается сравнительно точным скачком на цель и ее устойчивой фиксацией (рисунок 7.12 А). Скорость дрейфа редко достигает 1°/с, а его амплитуда не превышает 1°. Во время рассматривания сюжетных изображений регистрируются цепочки саккад, прерываемые малоамплитудным дрейфом (рисунок 7.12 Б). Константность зрительного направления не нарушена.

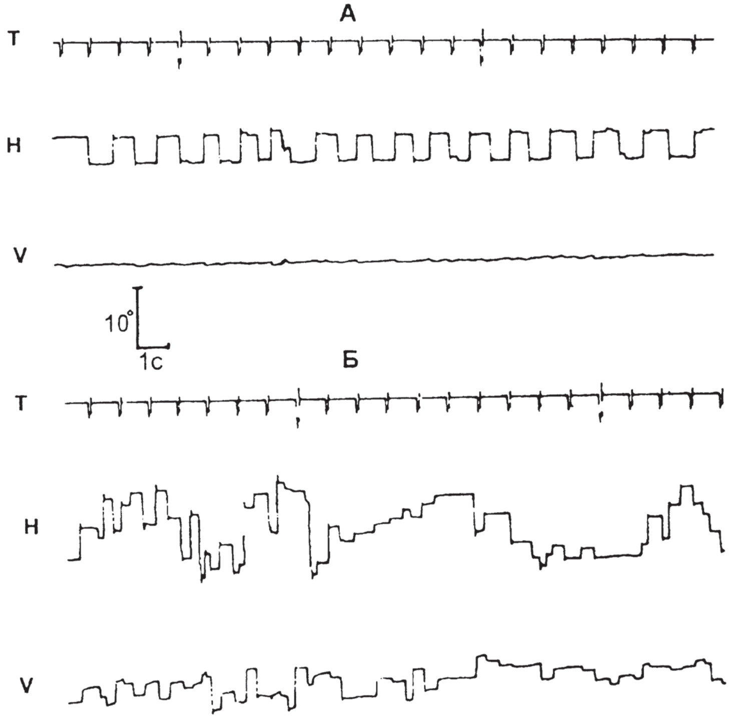


Рис. 7.12. Движения глаз при последовательной фиксаиии двух точек (А) и рассматривания сюжетного изображения (Б) (γ= 0°)

$|\gamma|$ =45°. Перевод взора с одного точечного элемента на другой сопровождается серией из 3–4 различно ориентированных саккад. Траектория фиксационного поворота глаз по форме напоминает дугу (рисунок 7.13).

Дрейфовый компонент достигает на отдельных непродолжительных (до 0.5 с) участках скорости 4–6°/с, его амплитуда — 3–5°. Фиксация точечного элемента трудностей не вызывает и совершается так же быстро, как и в обычных условиях. Лишь иногда в начале эксперимента отмечается впечатление «вязкости» движений, исчезающее после некоторой практики.

Не вызывает затруднений и задача рассматривания изображений. Испытуемые быстро определяют содержание картины и находят требуемые детали. Паттерны глазодвигательной активности близки

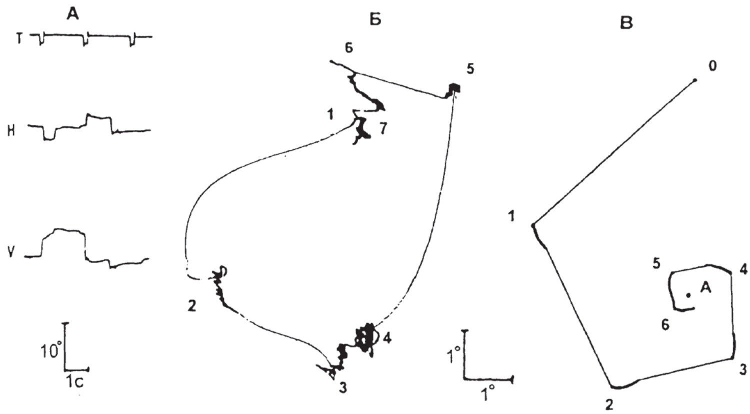


Рис. 7.13. Движения глаз при последовательной фиксации нижней и верхней точки ($\gamma = 45°$). А — временная развертка, Б — пространственная развертка, 1–2–3–4 — траектория поворота глаза с верхней точки фиксации на нижнюю, 4–5–6–7 — траектория поворота глаза с нижней точки фиксации на верхнюю, В — расчетная траектория поворота глаза на цель, 0 — верхняя точка, А — нижняя точка

к нормальным. Дугообразные траектории, характерные для фиксационных поворотов глаз на точечный тест-объект, практически отсутствуют. Среда воспринимается стабильной.

$|\gamma| = 90°$. Задача перевода взора с одного точечного элемента на другой выполняется посредством продолжительной серии саккад, прерывающихся ускоренным дрейфом. Число саккад, входящих в фиксационный поворот, может доходить до 40, причем диапазон их амплитуд существенно расширен. Временная развертка целостного окуломоторного акта представляет собой периодические колебания позиции (направления) глаз относительно позиции (зрительного направления) точечного элемента (рисунок 7.14).

Количество колебаний, их амплитуда и продолжительность варьируют и зависят, в частности, от упражнения, опыта испытуемого и особенностей его внимания. Сосредоточенность (нередко она требует волевых усилий) на предмете восприятия является условием оптимального поворота — такого, который занимает наименьшее время и состоит из монотонно затухающих колебаний. Ослабление

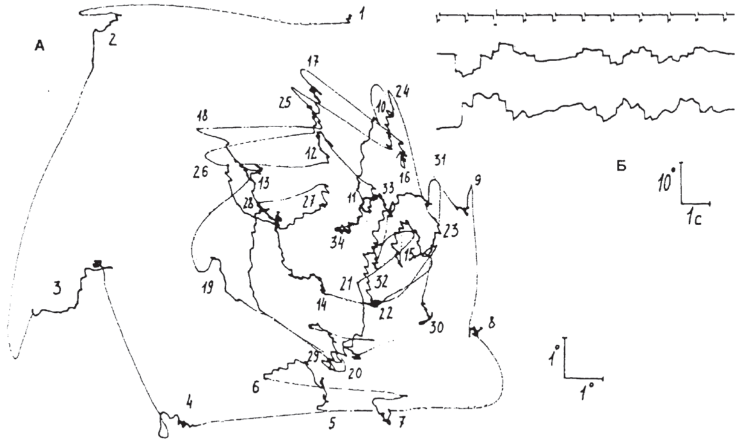


Рис. 7.14. Движения глаз при переводе взора с верхней точки на нижнюю (γ=90°). А — пространственная траектория, В — временная развертка. Цифры указывают последовательность движений

или распределение внимания прерывает процесс затухания, приводит к увеличению амплитуды и времени колебаний и в итоге не позволяет решить окуломоторную задачу. Если инструкция (или самоинструкция) не требует от наблюдателя устойчивой фиксации предмета, поворот глаза на цель содержит как возрастающие, так и затухающие по амплитуде колебания, которые отражают изменения отношения испытуемого к выполняемому заданию.

Скорость дрейфа повышается в среднем до 2–4°/с, достигая на отдельных временных интервалах (0.2–0.5 с) 12–14°/с. Амплитуда плавных движений не превышает 5–7°. Нередко устойчивой фиксации непосредственно предшествуют плавные низкоамплитудные (максимальная амплитуда 2–4°) затухающие вращательные движения длительностью 1–3 с. Ускоренный дрейф и скачок, идущие в разных направлениях, оформляются как нистагмоидные колебания глаза. Пространственная траектория целенаправленного поворота на точечный элемент среды имеет форму спирали.

В отличие от γ=45° необычность фиксационного поворота осознается испытуемыми. Отмечаются: 1) впечатление «вязкости» движений; 2) постепенное увеличение четкости фиксируемого предмета; 3) восприятие плавных малоамплитудных перемещений неподвиж-

ных элементов среды во время ускоренного дрейфа и восприятие изменения местоположения предметов при осуществлении макросаккад. Стабильность переживается только тогда, когда предмет устойчиво фиксируется. Последние обстоятельства указывают на падение константности зрительного направления. Активность ГДС начинает как бы «проецироваться» в зрительное поле, становится видимой. По впечатлениям кажущегося перемещения среды тренированный испытуемый способен легко и точно описать характер собственных движений, а также сопоставить их с особенностями зрительного внимания.

Задача рассматривания изображений особых затруднений не вызывает. Достаточно нескольких секунд, чтобы уверенно и точно описать содержание экспонируемых картин. В отличие от $|\gamma|=0°$ в паттернах окуломоторной активности начинает преобладать ускоренный дрейф и появляются нистагмоидные, седлообразные и спиралевидные структуры. Полные повороты глаза, характерные для фиксации точечных элементов, наблюдаются редко.

$|\gamma|=120°$. По сравнению с $0°<|\gamma|<90°$ фиксации точечного элемента и перемещения глаза из одной визуально заданной позиции (направления) в другую выполняются лишь некоторыми испытуемыми.

При экспозиции как точечных, так и сюжетных изображений имеет место сходная картина движений глаз. На окулограммах доминируют прерываемые саккадами продолжительные дрейфы. Их скорость в среднем составляет 3–6°/с, достигая на отдельных участках 30–40°/с; амплитуда не превышает 15°. Плавные повороты могут входить в состав нистагмоидных колебаний либо осуществляться самостоятельно в течение нескольких секунд. Продолжительные плавные движения по форме напоминают гирлянду, составленную из седлообразных полудуг и эллипсов, и связаны с ослаблением или распределением внимания (рисунок 7.15).

Последнее имеет место при инструкции, не требующей перцептивного выделения (фиксации) конкретного элемента зрительного поля, а также при задаче, запрещающей произвольные повороты глаз. Нистагмоидные движения сопровождают сосредоточенность наблюдателя на деталях воспринимаемого предмета и попытки их устойчивой фиксации. На окулограммах отчетливо просматривается параллельность (цикличность) не только простых, но и составных поворотов глаз. Хотя тест-объкт и воспринимается перемещающимся, он всегда остается в центральной части поля зрения. Необычные движения глаз и аконстантное восприятие слабо влияют на перцеп-

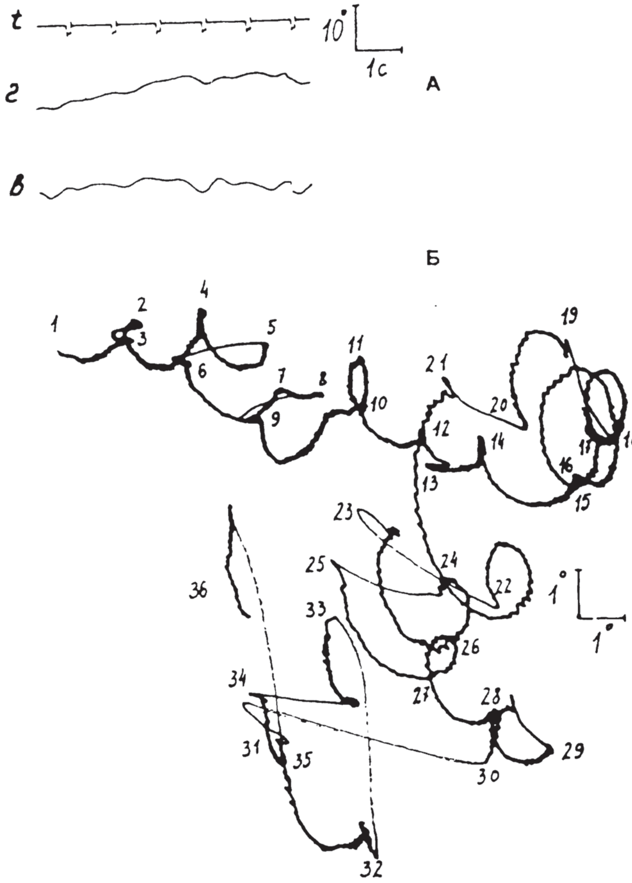


Рис. 7.15. Движения глаз при рассматривании сюжетного изображения (γ= 120°). А — временная развертка (центральная часть: 9-20), Б — пространственная траектория движения. Цифры указывают последовательность движений глаз

тивный анализ и синтез экспонируемых изображений. Испытуемые легко находят необходимую деталь или отношение тест-объекта, как бы пробегая взором узловые элементы изображенной ситуации. Отметим, что при несколько меньшем значении $|\gamma|$ =105° фиксационный поворот глаз у данной группы испытуемых еще сохраняется, хотя и носит трансформированный характер (рисунок 7.16).

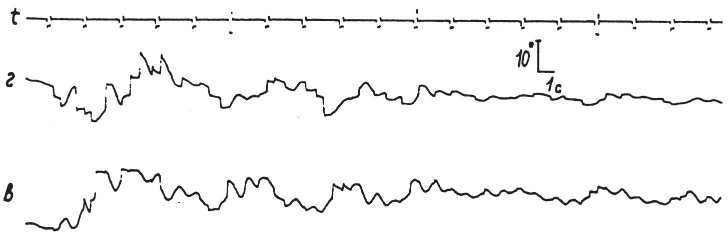


Рис. 7.16. Движения глаз при фиксации точки (γ= 105°)

Его пространственная траектория — скручивающаяся спираль; на среднем и финальном участке траектории преобладают малоамплитудные вращения с частотой 1.5–2.5Гц.

На окулограмме испытуемого, способного перевести и зафиксировать взор в заданном направлении, отмечаются четко выраженный нистагм с частотой 2–4Гц и затухающие синусоидальные колебания с частотой 1–2Гц и максимальной амплитудой 5–6°, непосредственно предшествующие кратковременной (0.5–2 с) фиксации точечного элемента. Форма окуломоторной структуры напоминает закручивающуюся спираль. Трудность выполнения задания связывается испытуемым с потерей стабильности восприятия: «объект постоянно ускользает от глаз». При рассматривании сюжетных изображений картина движений складывается из циклов нистагма и отдельных малоамплитудных затухающих колебаний. Устойчивые фиксации отсутствуют.

$|\gamma|$=135°. На окулограммах дифференцируются преимущественно нистагмоидные движения с частотой 0.5–3Гц; и плавные колебания глаз с амплитудой до 20–25° и скоростью на отдельных участках до 40–45°/с (рисунок 7.17).

Как и в предыдущих случаях, нистагмоидные движения возникают при попытках устойчивой фиксации элементов, имеющих малые угловые размеры. Распределение внимания, восприятие широким функциональным полем зрения сопровождается плавными колебательными движениями большой амплитуды.

После длительных попыток лишь один испытуемый смог зафиксировать положение глаз в заданном направлении. Здесь отчетливо прослеживаются медленные затухающие периодические вращения с частотой 1–2Гц и максимальной амплитудой 5–6°. Пространствен-

ная развертка этих колебаний — скручивающаяся спираль, периодически касающаяся цели (рисунок 7.18).

Неподвижные элементы среды всеми испытуемыми воспринимаются плавно перемещающимися или меняющими свое положение в поле зрения. Перцептивный анализ сюжетных изображений и произвольное управление взором вызывают трудности

$|\gamma| = 180°$. В данных условиях зарегистрировано несколько паттернов активности: а) нистагм с частотой 0.5–4Гц и амплитудой 5–30° (рисунок 7.19); б) отдельные циклы паранистагма с аналогичным диапазоном параметров; в) плавные колебательные (вращательные) движения с частотой 0.5–0.8Гц и амплитудой: по горизонтали 20–50°, по вертикали — 10–30° (рисунок 7.20); г) медленные непериодические колебания со скоростью до 20°/с; д) отдельные саккады с амплитудой до 20–25°. Доминирующие паттерны: нистагм и плавные вращательные движения глаз.

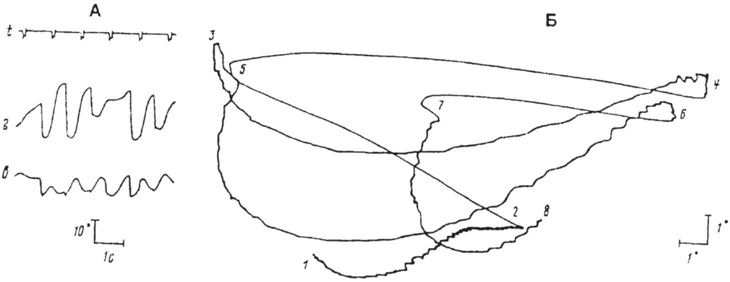


Рис. 7.17. Движения глаз при распределении внимания ($\gamma = 135°$). А — временная, Б — пространственная развертка. Цифры указывают последовательность движений глаз

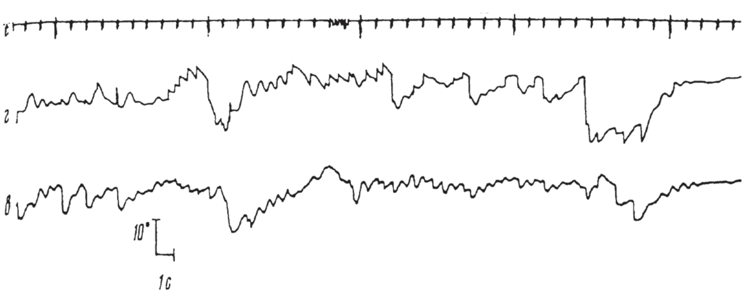


Рис. 7.18. Движения глаз при фиксации точки ($\gamma = 135°$)

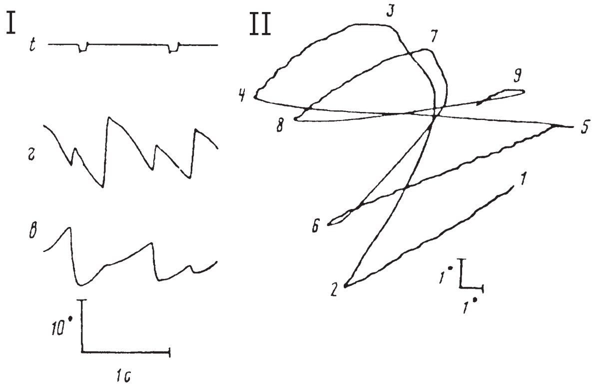


Рис. 7.19. Движения глаз при попытке фиксации (γ=180°). I — временная; II — пространственная развертка; *г, в* — горизонтальные и вертикальные движения глаз; цифрами обозначена последовательность движения глаз

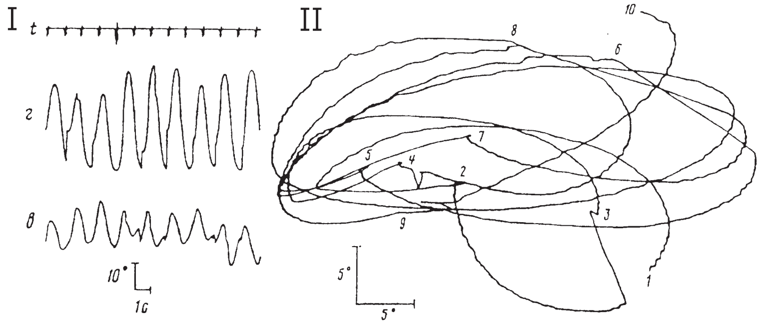


Рис. 7.20. Движения глаз при распределении внимания (γ =180°). Обозначения как на предыдущем рисунке.

Нистагмоидные движения появляются при попытках фиксировать точку или деталь экспонируемого изображения. Пространственная траектория медленной фазы нистагма близка к прямой линии, направление которой широко варьирует. Плавные колебательные движения имеют место при распределении внимания или прослеживании «уплывающего» предмета. Их траектория напоминает эллипс, меняющий свои размеры и ориентацию в пространстве. Саккады, прерывающие плавное движение, направлены либо в центр, либо на соседние участ-

ки эллиптической траектории. Появляется впечатление резкого смещения воспринимаемых элементов во время скачка. При выполнении нистагмоидных движений перцептивный анализ и синтез сюжетных изображений по-прежнему вызывает трудности.

Согласно результатам проведенного исследования, с увеличением рассогласования между направлениями движений глаз и смещения ретинального образа имеют место следующие тенденции.

1. Произвольный фиксационный поворот глаз на тот или иной предмет восприятия становится все более продолжительным (до 20–30 с) и сложным. Его пространственная траектория, составленная из возрастающего числа саккад и ускоренных дрейфов, приобретает спиралевидный характер; чем выше значения $|\gamma|$, тем выше амплитуда и больше витков «спирали». Начиная с $|\gamma| = 90°$ устойчивой фиксации предмета предшествуют малоамплитудные затухающие вращения глаз. При $\gamma > 120–135°$ произвольный поворот глаз полностью разрушается, а устойчивая фиксация становится невозможной.

2. Увеличивается вес плавного компонента движений глаз (дрейфа) в структуре глазодвигательной активности; его скорость растет от 20–60 угл. мин./с до 60–80°/с, а амплитуда от 20 угл. мин. до 50°. Развитие плавного компонента ведет к возникновению специфических окуломоторный структур, которые в обычных условиях отсутствуют: нистагма, паранистагма, малоамплитудных затухающих вращении и крупноамплитудных незатухающих вращений. Нистагмоидные движения обнаруживаются уже при $|\gamma| = 90°$ и с увеличением $|\gamma|$ развиваются в основной паттерн глазодвигательной активности. Элементы высокоамплитудных плавных колебаний появляются при $|\gamma| = 135°$ и с увеличением $|\gamma|$ оформляются в эллиптические движения большой амплитуды. Возникнув при $|\gamma| = 90°$, седлообразные качания и малоамплитудные затухающие вращения, предшествующие устойчивой фиксации, достигают максимума развития (наибольшей амплитуды и длительности) при $|\gamma| = 120–150°$, а затем исчезают. Они появляются вновь лишь при $|\gamma| = 165°$, но уже в иных условиях (во время релаксации). Паранистагмоидные движения максимально проявляются при $|\gamma| = 135°$, однако циклы паранистагма имеют место как при $|\gamma| = 120°$, так и при $|\gamma| = 180°$. Плавные непериодические движения глаз со скоростью до 20°/с, а также отдельные саккады встречаются на всем диапазоне $|\gamma|$.

3. Воспринимаемое пространство теряет привычную стабильность и начинает регулярно смещаться вместе с поворотом глаза для $|\gamma| > 45°$. Видимые перемещения среды связываются прежде всего с плавными

движениями глаз; их скорость и амплитуда растут с увеличением скорости и амплитуды плавного компонента глазодвигательной активности. При осуществлении саккад воспринимаемые предметы меняют свою позицию в зрительном поле, причем с увеличением γ воспринимаемое расстояние между предыдущим и последующим положением предмета в поле зрения увеличивается. При $|\gamma|=180°$ возникает впечатление резкого смещения элементов поля зрения во время саккады.

Трудности и время решения сложных зрительных задач ощутимо возрастают при $|\gamma|>135°$. Теряется управление собственным взором и возможность произвольного выделения значимого элемента или отношения среды.

Таким образом, монотонное изменение направления зрительной обратной связи ГДС, ведет к непрерывным трансформациям окуломоторной активности, стабильности зрительного восприятия и привычных способов решения перцептивных задач. Высшей точки эти трансформации достигают при $|\gamma|=180°$ — значении, соответствующем регуляции движений глаз на основе положительной зрительной обратной связи.

7.4. Адаптивность фиксационных поворотов глаз

Наличие «гомологического ряда» окуломоторных структур выражает последовательно возрастающую дискоординацию процессов, реализующих фиксационный поворот глаз. Источник описанных нарушений — изменение зрительной экс- и реафферентации (Holst, Mittelstaedt, 1973); их основание — рассогласование способов получения и использования зрительной афферентации в организации окуломоторного акта, дивергенция его сенсорных (зрительных) и двигательных компонентов. В обычной ситуации эти образования хорошо скоординированы и действуют как бы в одном направлении. «Взаимосодействие» (П.К. Анохин), или конвергенция, сенсорных и моторных компонентов позволяет наблюдателю оперативно решать широкий спектр зрительных, двигательных и поведенческих задач. При искусственном вращении оптической системы координат способ построения окуломоторного акта (зрительно-оку-

ломоторное соответствие) в целом сохраняется, но его результат оказывается неадекватным эгоцентрическому направлению предмета восприятия. Фиксационная саккада на эксцентрично расположенный тест-объект не приводит к достижению цели, а лишь меняет положение его проекции относительно fovea centralis, что стимулирует появление новой саккады и ускоренного дрейфа. Фиксационный поворот как бы развертывается в пространстве и времени, причем, чем больше абсолютное значение γ, тем продолжительнее и экстенсивнее оказывается глазодвигательная активность. При $|\gamma| = 180°$ способы получения и использования зрительной афферентации расходятся в диаметрально противоположных направлениях; «взаимосодействие» сменяется противодействием, а целенаправленный поворот глаз становится невозможным.

Рассогласование направлений поворота глаз и смещения проксимальной стимуляции

На первый взгляд, полученные данные демонстрируют устойчивость способа построения окуломоторного акта, или, в других терминах, жесткость зрительно-окуломоторного отношения (по крайней мере, в течение тестируемого периода). Однако эти характеристики носят не абсолютный, а относительный характер.

На всем диапазоне $|\gamma|$ $(0° < |\gamma| < 180°)$ обнаруживается тенденция несоответствия поворотов глаз пространственным характеристикам проксимальной стимуляции, своего рода окуломоторная «систематическая ошибка». Во-первых, степень искажения глазодвигательной активности оказывается существенно меньше расчетной, а ожидаемые структуры движений для $|\gamma| > 60–90°$ в действительности отсутствуют. Во-вторых, при одном и том же значении $|\gamma|$ эта активность проявляется в нескольких альтернативных формах. Иначе говоря, способ построения окуломоторного акта характеризуется не только устойчивостью (жесткостью зрительно-окуломоторного отношения), но и изменчивостью (гибкостью зрительно-окуломоторного отношения). Это означает, что рассогласование между ретинальным образом предмета восприятия и fovea centralis — необходимое, но недостаточное условие организации целенаправленных движений глаз. Не менее важную роль в этом процессе играют собственные свойства окуломоторной системы, в частности, ее адаптивность — способность приспосабливаться к новым условиям функционирования, а также способ решения зрительной задачи, который использует наблюдатель.

Эксперимент показывает, что феноменология и продолжительность окуломоторной адаптации зависят от величины изменений ориентации оптической системы координат. Можно выделить три диапазона, которым соответствуют разные степени дисфункции ГДС:

1) слабые, или допустимые, нарушения ($0° < |\gamma| < 45–60°$). В этом диапазоне происходит незначительное изменение состава целенаправленных поворотов глаз (большее число саккад, увеличенная скорость дрейфа), сохранены возможность устойчивой фиксации заданного элемента среды и стабильность восприятия. Искажения глазодвигательной активности постепенно исчезают через 15–20 минут после начала эксперимента;

2) умеренные нарушения ($45–60° < |\gamma| < 135°$). Диапазон характеризуется выраженными изменениями состава целенаправленных поворотов глаз, появлением необычных окуломоторных структур (нистагма, плавных затухающих колебаний) и принципиальной возможностью фиксации неподвижного объекта. В ходе повторного выполнения зрительных и окуломоторных задач объем движений глаз и время выполнения фиксационных поворотов постепенно сокращаются;

3) сильные нарушения ($135° \leq |\gamma| \leq 180°$). Данный диапазон связан с устойчивостью специфических окуломоторных структур (инверсионного нистагма, крупноамплитудных вращении) и невозможностью фиксации воспринимаемого предмета. Выраженные компенсаторные процессы направлены либо на преодоление наблюдателем навязанных движений, либо на их использование для решения текущих зрительных задач; в последнем случае наблюдатель намеренно прослеживает кажущееся перемещение воспринимаемой сцены, поддерживая плавные колебания глаз (феномен альбатроса).

Формы и механизмы окуломоторной адаптации

Согласно полученным данным, окуломоторная адаптация совершается в двух основных формах: оперативной и консервативной.

1. *Оперативное перепрограммирование* окуломоторного акта выражается в корректировке параметров цели и критериев оценки результата, выполняемой почти одновременно (время задержки — доли секунды) с изменением условий регуляции движений глаз. В результате подобных преобразований вектор координат окуломоторного поля как бы поворачивается на некоторый угол в сторону, противоположную

искусственному вращению оптической системы координат. Этот процесс развертывается по принципу «воронки»: захватывает первоначально всю совокупность параметров глазодвигательной активности (амплитуду, направление, скорость, форму), постепенно отфильтровывая направление движения — основной параметр, трансформируемый искусственной оптической системой. В ходе этого процесса фиксационный поворот глаз теряет избыточные звенья, становится все более и более оптимальным. Однако возможности данной формы адаптации ограничены: при $|\gamma|>135°$, несмотря на вносимые коррекции, глазодвигательные задачи не выполняются.

Биологическая целесообразность оперативной перестройки фиксационых поворотов глаз заключается в компенсации неожиданных нарушений глазодвигательного аппарата. Если бы она отсутствовала, ГДС была бы крайне уязвима всевозможными возмущениями, случайными по отношению к основной функции. Это затруднило бы восприятие (обнаружение и опознание) требуемых элементов среды, сделало бы его более продолжительным, а значит, понизило бы шансы выживания.

Результаты эксперимента позволяют выделить следующие средства оперативной адаптации окуломоторного акта (рисунок 7.21):

- уменьшение относительной амплитуды саккад; чем больше γ, тем меньше средняя амплитуда: для $\gamma=45°$ $A_{ср}=94\%$, для $\gamma=90°$ $A_{ср}=85.6\%$, для $\gamma=120°$ $A_{ср}=52.7\%$ расстояния до цели;
- увеличение диапазона амплитуды саккад, который с ростом γ смещается в сторону меньших амплитуд;
- корректировка направления саккад в среднем на величину 12–18°; при увеличении γ от 45° до 120° угол корректировки меняется от 17.8° до 12.4°;
- увеличение и рост (с увеличением γ) диапазона возможных направлений саккад;
- существенное расширение диапазона возможных направлений дрейфа: при $\gamma=45°$ $31° \le D \le 66°$, при $\gamma=90°$ $67° \le D \le 92°$, при $\gamma=120°$ $68° \le D \le 134°$;
- тяготение среднего направления дрейфа к эгоцентрическому направлению предмета восприятия (их рассогласование относительно постоянно и составляет всего 20–30°);
- увеличение скорости, амплитуды и продолжительности дрейфа;
- значительное увеличение общего объема движений глаз, необходимого для выполнения текущего перцептивного акта.

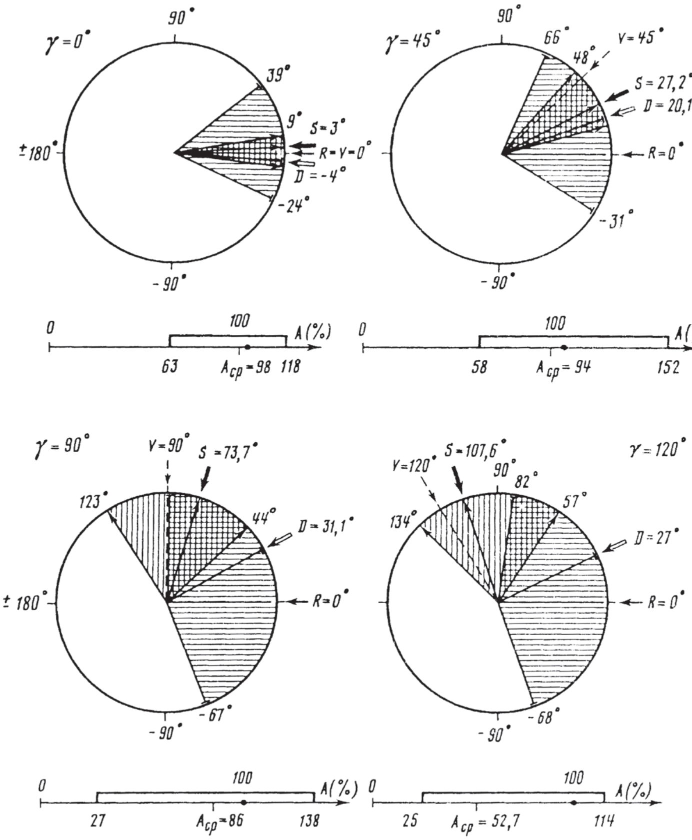


Рис. 7.21. Динамика направления саккад и дрейфов и относительной амплитуды саккад в зависимости от величины γ. R — реальное направление предмета, V — видимое направление, S — среднее направление саккад; D — среднее направление дрейфа, $A_{ср}$ — средняя относительная амплитуда саккад; горизонтальная штриховка указывает диапазон направлений саккад, вертикальная штриховка — диапазон направлений дрейфа

Каждый окуломоторный акт в условиях $\gamma \neq 0°$ реализует компромисс между действительным (эгоцентрическим) и видимым направлениями предмета, результатом которого становится их постепенное сближение ($45° < |\gamma| < 135°$). По-видимому возможность адаптивных

преобразований ГДС данного типа опирается на вариативность проявлений глазодвигательной активности, характерную для обычных условий ($\gamma=0^\circ$). Фиксационный поворот всегда имеет некоторый разброс направлений и амплитуд, причем их средние значения могут отклоняться от действительной (=визуальной) позиции предмета. Нетрудно предположить, что при изменении зрительной обратной связи ГДС «центр тяжести» воспринимаемого предмета переносится в одно из крайних положений оперативной зоны фиксаций, компенсируя возникшие нарушения.

2. *Консервативная* форма адаптации предполагает относительно медленную (вероятно, в течение нескольких суток) перестройку всей системы обеспечения окуломоторного акта, включая его нормы и эталоны. Она вызывается длительным постоянным нарушением регуляции движений глаз и требует привлечения менее мобильных средств. Неизбежность консервативной формы адаптации ГДС вытекает из общих закономерностей «работы» функциональных систем (Анохин, 1978; 1980) и принципов организации зрительного восприятия человека (Howard, 1982; Rock, 1983).

Поскольку время нашего эксперимента было ограничено продолжительностью ношения глазных присосок, этот процесс не развился и не проявил себя как определяющий фактор регуляции движений. Тем не менее преемственность окуломоторных структур, сопровождающих монотонное увеличение $|\gamma|$, позволяет указать общие черты кардинальных преобразований ГДС. На первой стадии уменьшается амплитуда плавных синусоидальных вращений глаз и падает скорость медленной фазы нистагма; однако устойчивая фиксация еще не достигается. На второй стадии разрушаются крупноамплитудные синусоидальные движения, но появляются малоамплитудные затухающие вращения и серии разнонаправленных саккад, постепенно приводящие к цели. На третьей стадии исчезают специфические структуры глазодвигательной активности, последовательно сокращается число разнонаправленных саккад, включенных в фиксационный поворот; параметры движений глаз становятся адекватными эгоцентрическим параметрам объекта фиксации. Общая тенденция состоит в снижении «веса» плавного компонента глазодвигательной активности, уменьшении его скорости и амплитуды до диапазона обычного дрейфа. В результате адаптации постепенно восстанавливается стабильность восприятия (третья стадия) и снимаются трудности решения перцептивных задач (вторая стадия).

Формы окуломоторной адаптации взаимосвязаны и предполагают друг друга. Оперативные преобразования предшествуют кардинальным и задают направление их развития; консервативеные — закрепляют новую структуру зрительно-окуломоторного соответствия и становятся гарантом ее устойчивости.

Конкретные механизмы, лежащие в основе приспособительных окуломоторных эффектов, не вполне ясны. Можно полагать, что оперативная форма адаптации связана преимущественно с компенсаторным действием торзионных движений глаз (Белопольский, Вергилес, 1990; Crone, Evergard, 1975), окуломоторной потенциации (Ebenholtz, 1973, 1974), сенсорной пространственной адаптации к наклону, близкой к эффекту нормализации Дж.Гибсона (Gibson, Raber, 1937; Singer, Day, 1966) и зрительного смещения (Asch, Witkin, 1948; Austin, Singer, Wallace, 1974), консервативная — с модификацией стратегии решения зрительных и двигательных задач (Rock, 1966; Over, 1966; Day, Singer, 1967), изменением виртуальной позиции наблюдателя (Логвиненко, 1981), интерсенсорной реинтеграции зрительной, вестибулярной и проприоцептивной систем организма (Over, 1966; Gonshor, Jones, 1976; Callan, Ebenholtz, 1982) и с другими подобными явлениями. В любом случае речь идет о реконструкции функциональной системы целостного фиксационного поворота, которая включает формирование нового аппарата афферентного синтеза, модификацию базовых двигательных программ и видоизменение критериев ожидаемого результата; центральную роль в этом процессе играет зрительная обратная афферентация.

Природа адаптивности окуломоторного акта

Как следует из полученных данных, существенным условием окуломоторной адаптации является активное включение субъекта в решение зрительной и/или двигательной задачи. Это предполагает сосредоточенность (концентрацию внимания) и усилие, направленное на выделение и контроль фиксируемого предмета. Если он «теряется» наблюдателем или контролируется «боковым зрением», устойчивая фиксация становится невозможной. Психологически фиксационный поворот глаз в условиях измененной зрительной обратной связи строится как волевое действие, достигающее заданного результата (перцептивного или двигательного) путем преодоления внешне навязываемых движений.

Обратной стороной этого действия является процесс восстановления перцептивного (окуломоторного) навыка. Он принимает форму приспособления субъекта к необычным условиям восприятия, зависит от величины рассогласования зрительного и эгоцентрического направлений и включает этапы: (1) компенсации рассогласования, (2) оптимизации двигательного состава фиксационного поворота глаз, (3) закрепления и стабилизации навыка. Психологический механизм восстановления окуломоторного навыка предполагает реорганизацию отношений основных образующих процесса восприятия: перцептивной схемы, плана, установки, операционального состава и т. д., в результате которой складывается новый «функциональный орган» (А.А. Ухтомский), способный обеспечить оптимальное взаимодействие субъекта восприятия с окружающим его миром.

Закономерности этого процесса требуют специальных исследований. По-видимому, многое может подсказать опыт хронических экспериментов по адаптации человека к оптическим искажениям, в частности, к инверсии и реверсии зрительного поля. Известно, что она продолжается в течение нескольких суток и ведет к восстановлению системы предметных отношений, которые реализуются на основе инвертированного (реверсированного) чувственного содержания. Однако внутренняя конфликтность перцептивного образа сохраняется и при необходимости может быть объективирована (Логвиненко, Столин, 1973; Логвиненко, 1981; Логвиненко, Жедунова, 1981; Stratton, 1897; Ewert, 1936; Kohler, 1964, 1974). Полезный эмпирический материал получен в исследованиях перцептивной адаптации к оптическим смещениям и наклону. В зависимости от величины возмущения и числа проб адаптационный процесс занимает время от нескольких секунд до нескольких часов, протекает в разнообразных формых и имеет отчетливо выраженное последействие (Held, Freedman, 1963; Harris, 1965; Rock, 1966; Ebenholtz, 1966; Over, 1967; Howard, 1970; Austin, Singer, Wallace, 1974 и др.). Отсутствие корреляций между адаптацией к оптическому смещению и адаптацией к оптическому наклону воспринимаемого объекта (Redding, 1973, 1975) указывает на различие механизмов, лежащих в их основе. Вероятно, в условиях оптической трансформации направления зрительной обратной связи ГДС собственно зрительная (наклон и смещение зрительного поля) и окуломоторная (фиксационный поворот глаз) адаптации не просто сопровождают, но и взаимоподтягивают друг друга (см.: Валлах, 1985; Shebilske, 1978; Howard, 1982).

Проведенный анализ подводит к выводам, касающимся общей природы адаптивности ГДС, ее самоорганизации. Она раскрывается в трех планах. Во-первых, как *поиск* адекватного направления глаз, обеспечивающего эффективное решение текущей зрительной задачи. Во-вторых, как *оптимизация способа достижения* необходимого направления в ходе повторения. В-третьих, как *регулирование* окуломоторного направления по отклонению от заданного. Соответственно, сама ГДС выступает как (1) поисковая, (2) обучающаяся и (3) следящая.

Полученный эмпирический материал показывает, что относительно устойчивое направление глаз (фиксация предмета) не столько дано, сколько *задано* наблюдателю, как задано и самое зрительно-окуломоторное соответствие или способ организации функциональной системы. Подобно поиску того, что еще должно быть воспринято, ищется динамическое равновесие глаз в орбитах, обслуживающее перцептивный процесс. В обычных условиях поиск окуломоторного направления проявляется в усложнении состава (возникают дополнительные саккады, возрастают скорость и амплитуда дрейфа) и увеличении продолжительности целенаправленного поворота, а также в варьировании направлений микросаккад и дрейфов во время фиксаций. Наиболее же отчетливо он обнаруживается при искажении зрительной обратной связи, когда ГДС вынуждена добирать необходимую информацию в самом акте восприятия. В зависимости от того, как меняется рассогласование между окуломоторным и зрительным направлениями предмета в ходе выполнения дрейфов и саккад, корректируется направление и амплитуда перемещения глаз. В процессе поиска устанавливается новое зрительно-окуломоторное соответствие, видоизменяется программа и критерии выполнения фиксационных поворотов глаз.

Научение закрепляет и оптимизирует новую схему зрительно-окуломоторных координаций. Оно совершается в ходе повторных выполнений зрительных и глазодвигательных задач и проявляется в двух формах: 1) снижении объема движений, уменьшении скорости и амплитуды дрейфа и сокращении времени целенаправленного поворота глаз; 2) эффектах окуломоторного последействия (см.: Барабанщиков, 1978; Белопольский, Вергилес, 1979; Вергилес, Андреева, 1990). Поощряются и отбираются лишь те движения, которые непосредственно содействуют решению задачи, а управление фиксационным поворотом протекает с наименьшими затратами. Содержанием процесса научения является специализация и последовательная дифференциация компенсаторных изменений зрительной и окуло-

моторoной систем, развитие и закрепление новых интер- и интрасистемных связей и отношений, что, в свою очередь, оказывает положительное влияние на возможности окуломоторного поиска: он становится все более быстрым, динамичным и «прямым».

В результате научения ГДС приобретает черты автоматического регулятора, для которого вновь выработанное зрительно-окуломотороное соответствие становится основой и нормой функционирования. Только при этом условии ГДС имеет достаточную информацию об относительном направлении глаз и способно оперативно нивелировать рассогласование окуломоторного и зрительного направлений воспринимаемого предмета. Для сложившейся ГДС процессы поиска и научения уходят как бы на дальний план, снимаются.

Фундаментальным следствием процедуры изменения γ является *раздвоение* единого (в обычных условиях) основания организации окуломоторной активности. Гибкая (вновь создаваемая) и жесткая (сложившаяся ранее) структура зрительно-окуломоторного отношения порождают различно ориентированные процессы, результирующая которых находит выражение в трансформациях фиксационного поворота глаз.

7.5. Принципы организации окуломоторных структур

Для того чтобы прояснить состав и динамику внутренних детерминант фиксационного поворота глаз, обратимся к анализу причин, обусловливающих возникновение необычных окуломоторных структур при $|\gamma| > 90°$. Впрочем, эта необычность довольно условна и относительна.

С точки зрения механики, управляемое звено ГДС представляет собой однозвенный физический маятник, раскачивающийся в инерционном поле. Поэтому перемещение глаз по эллиптическим траекториям и регулярная структура движений вполне закономерны. Подобными кинематическими свойствами обладает тремор, диагональные саккады, дрейф закрытых глаз человека в состоянии медитации, торзионные движения и др. Наиболее типичной формой колебательных процессов является нистагм. Он имеет две основные разновидности (маятнико- и пилообразную), обнаруживается уже на ранних стадиях

онтогенеза ГДС (Гатев, 1973; Митькин, 1988; Сергиенко, 1992) и вызывается зрительной (Die, Collewijn, 1982), вестибулярной (Курашвили, Бабияк, 1975), акустической (Lackner, 1977), гаптико-кинестетической (Bochele, Arnold, Brandt, 1978) стимуляцией, а также произвольно, по представлению движущейся регулярной структуры (Zikmund, 1985). Нистагм — обычная реакция на нарушения ГДС и ее межсистемных связей (Благовещенская, 1968; Шахнович, 1974; Bender, 1955;Lawrence, Lightfoot, 1975). Яркой иллюстрацией вынужденных колебательных процессов в ГДС в связи с неполадками управления плавными движениями глаз может служить врожденный нистагм, имеющий большое разнообразие видов и переходных форм (Dell'Osso, Flin, Daroff, 1974; Dell'Osso, Daroff, 1975).

Возможность колебательных движений образует основу, или общий фон, на котором строятся любые фиксационные повороты глаз. И целенаправленные саккады, и плавное прослеживание объектов, выделяемые в качестве традиционных предметов исследования,— лишь «фигуры», отражающие решение специальных задач управления движениями. Но даже в случае целенаправленного изменения фиксационной позиции глаз зрительная ось описывает эллиптическую траекторию, параметры которой зависят от начальных условий выполнения саккады (Батуев, Таиров, 1978; Блужене, 1990; Bahill, Stark, 1979). С этой точки зрения, появление и синусоидальных вращений, и пилообразного нистагма при изменении направления зрительной обратной связи ГДС не столь уж неожиданно: в условиях, исключающих или существенно затрудняющих устойчивую фиксацию, а значит, и построение необходимых окуломоторных структур, фоновые компоненты окуломоторной активности становятся доминирующими.

Механизмы дезинтеграции фиксационных поворотов

Главным следствием монотонного вращения вектора зрительной обратной связи является постепенное *снижение устойчивости* ГДС. Безусловно, необходимое направление взора обеспечивается совокупностью механизмов, интегрированных в установке (состоянии готовности) наблюдателя на восприятие предмета, расположенного в определенном месте пространства в определенное время, но именно зрительная обратная связь делает ее выполнение наиболее точным, быстрым и непрерывным. С увеличением $|\gamma|$ еди-

ный окуломоторный процесс теряет согласованность, а его функциональные механизмы действуют в разных направлениях. Так, по-прежнему выполняется афферентный синтез, принимается решение о перемещении глаз в сторону выделяемого предмета, формируется программа фиксационного поворота и акцептор результатов выполняемого действия, наконец, совершается самое действие. Однако в силу ложной локализации воспринимаемого предмета и изменения направления смещения ретинального образа во время движений глаз зрительная реафферентация (зрительная обратная связь, информирующая о текущем положении глаз относительно предмета восприятия) оказывается отличной от ожидаемой (не соответствует критериям адекватности данного окуломоторного акта), вызывая повторные движения, а при их неуспехе — коррекцию параметров фиксационного поворота глаз: видоизменяются программа, вектор готовности наблюдателя и критерии результата действия. Как уже отмечалось, эти процессы составляют содержание оперативных преобразований окуломоторной активности.

Другим следствием изменения направления зрительной обратной связи ГДС является *диссоциация движений,* реализующих фиксационный поворот глаз. Постепенное снижение устойчивости ГДС находит отражение в увеличении числа «транзитных» саккад и дрейфов и последовательном изменении их параметров (возрастает скорость и амплитуда дрейфа, снижается амплитуда саккад и др.), благодаря которым меняется общая структура окуломоторной активности. Существенно, что способы корректировки направлений дрейфов и саккад принципипиально различны. Если с увеличением $|\gamma|$ от 45° до 120° направление саккады, входящей в состав фиксационного поворота, компенсируется на относительно постоянную величину (17.8–12.4°), то степень компенсации дрейфа возрастает монотонно. При этом выполнение саккады связывается преимущественно с видимым, а выполнение дрейфа — с эгоцентрическим направлением предмета. С ростом $|\gamma|$ угол рассогласования средних направлений дрейфа и саккад также возрастает. Достигнув некоторой критической величины ($|\gamma|$=90°), разнонаправленные (A=42.6°) дрейф и саккада оформляются в нистагмоидные движения, которые, начиная с $|\gamma|$ >120° (A>90°) принимают все более выраженный, доминантный характер, разрушая и замещая собой фиксационный поворот.

Общий механизм появления инверсионного нистагма представляется следующим образом. Для того чтобы адекватно воспринять миниатюрный предмет, наблюдателю необходимо в течение 200–400

мс сохранять положение глаз в оперативной зоне фиксаций. Из-за высокой скорости дрейфа сделать это при $|\gamma|>120°$ почти невозможно; глаза сплывают в сторону эгоцентрического направления предмета, вызывая (вследствие потери константности зрительного направления) восприятие его движения. В какой-то момент времени возрастающее рассогласование между зрительным направлением предмета и текущим направлением глаз инициирует коррекционный скачек, который возвращает глаз (и зрительную сцену) в область начального движения. Процесс повторяется вновь и совершается до тех пор, пока не будет выделен новый предмет восприятия. Как показывают исследования, ГДС учитывает чередование разнонаправленных плавных и саккадических движений, прогнозируя их появление, оформляя и упорядочивая их ритм. Инверсионный нистагм приобретает новое качество — непроизвольность (Барабанщиков, 1978).

В несколько иных терминах, нистагмоидные движения глаз выступают как *форма диссонанса* «плавной» и «саккадической» подсистем ГДС. В обычной ситуации саккады и дрейфы подчинены выполнению единой задачи, взаимодополняя и взаимоопосредуя друг друга; это разные проявления одного и того же окуломоторного акта, обеспечивающего восприятие требуемого элемента или отношения среды. С изменением направления зрительной обратной связи ГДС ее подсистемы вступают в противоречие друг с другом, обнажая подчиненность различным принципам регулирования.

Согласно полученным данным, и саккадические, и плавные движения глаз определяются как зрительными, так и незрительными детерминантами, но степень их участия в построении разных видов движений оказывается различной. Если саккады более согласуются со зрительно воспринимаемым направлением предмета, то ускоренные дрейфы — с его эгоцентрическим направлением. В результате образуются два фиксационных «центра тяжести» предмета (Coren, Hoenig, 1972; Findlay, 1980; Coren, 1986), определяющие характер окуломоторной активности для $\gamma>0$. Чем больше γ, тем больше в полярной системе координат разнесены эти центры. Основной и наиболее типичной окуломоторной структурой, разрешающей данное противоречие, становится инверсионный нистагм. Однако, возможен и другой исход. В диапазоне $90°\leq|\gamma|\leq135°$ возникает малоамплитудные эллиптические затухающие вращения, которые непосредственно предшествуют устойчивой фиксации. Это означает, что в ограниченной области окуломоторного поля (3–6°) (1) зрительно выделяемый

предмет способен инициировать не только саккадические, но и плавные перемещения глаз; (2) эгоцентрическое направление предмета оказывает более сильное тоническое действие, чем зрительное. Высказанное представление подтверждается тем фактом, что затухающие эллиптические вращения совершаются *между* «центрами тяжести», постепенно приближаясь к эгоцентрическому направлению предмета. Сходные явления наблюдались Л. Дель'Оссо на материале врожденного малоамплитудного (до 6°) эллиптического нистагма (Dell'Osso, 1973; Dell'Osso, Daroff, 1975); его исследования показали, что подобная стратегия фовеализации является более эффективной, чем вращение глаз вокруг фиксируемого предмета. В пользу изложенного представления свидетельствует и увеличение максимальной амплитуды, числа и времени затухания эллиптических вращении с увеличением $|\gamma|$ до их исчезновения ($|\gamma|=135°$).

Необходимым условием появления нистагма и спиралевидных вращений является использование наблюдателем привычной стратегии восприятия: сканирование объекта, выделение его деталей, концентрация зрительного внимания на локальных участках зрительного поля и, как следствие, наличие сравнительно узкой зоны оперативных фиксаций. В условиях $\gamma \neq 0$ это связано с определенными усилиями наблюдателя, а в некоторых случаях и с умением удерживать внимание на воспринимаемом предмете. По существу, речь идет о волевом акте, который включает и осознанную цель, и «борьбу» с навязанными движениями глаз ради ее выполнения.

А что случается, когда эти усилия ослабевают: наблюдатель занимает созерцательную позицию, а стратегия восприятия опирается на одновременный «охват» предмета, имеющего большие угловые размеры? Все зависит от величины $|\gamma|$.

В диапазоне $90°<|\gamma|<135°$ преобладает ускоренный дрейф, принимающий с ростом γ седлообразный характер (направление глаз приближается, а затем удаляется от эгоцентрического направления предмета); его радиус не превышает, как правило, нескольких угловых градусов. Постепенно седлообразные раскачивания становятся регулярными, перемежаясь отдельными саккадами либо циклами нистагма. При рассматривании изображений ($|\gamma|=105$–$120°$) траектория окуломоторной активности представлена цепочкой сменяющих друг друга седлообразных дрейфов. По продолжительности они могут занимать несколько десятков секунд, имея общую амплитуду 10–15°. С увеличением скорости плавных движений «седло» может переходить в «эллипс» или «спираль». Появление подобных траекторий

представляется естественным: согласно расчетным данным, зрительно контролируемые плавные перемещения глаз для $\gamma \neq 0°$ должны совершаться по дугообразной кривой. В сконструированных условиях они инициируются не только и не столько зрительным, но и эгоцентрическим направлением предмета, причем соответствующие им оперативные зоны фиксаций в значительной степени пересекаются. В силу рассеянности фронтов альтернативное действие «центров тяжести», проявляющееся в эллиптических и спиралевидных траекториях плавных движений, возникает сравнительно редко. Вероятно, некоторую стабилизирующую роль играет и позиция покоя глаз, проецируемая в центральную область тест-объекта. Смена задачи (установки, стратегии восприятия), попытка выделить отдельные элементы или детали изображения практически сразу же вызывает саккадические движения, направление которых больше соответствует зрительному направлению предмета.

Начиная с $\gamma > 135°$ радиус дугообразной траектории и скорость дрейфа существенно увеличиваются; возникают вращательные движения большой амплитуды (15–20°) которые перманентно прерываются саккадами и носят как бы незавершенный характер. При $|\gamma| = 150°$ появляются отдельные циклы крупноамплитудных (до 30–40°) эллиптических вращениий, которые оформляются в регулярную окуломоторную структуру ($|\gamma| = 180°$), длящуюся десятки секунд. Плавные перемещения глаз совершаются *вокруг* предмета восприятия и отличаются предельно высокой скоростью и амплитудой. Заметим, что даже при максимальных значениях γ глаза не останавливаются и не дрейфуют в области морфологической границы окуломоторного поля (около 50° от позиции покоя по горизонтальному меридиану). Скорость эллиптических вращении меняется синусоидально, достигая наибольшего значения в центральной зоне, а наименьшее — при смене направления движения; общая амплитуда вращения не превышает 60° (± 30° от позиции покоя по горизонтальному меридиану).

Очевидно, что в построении описанных движений участвует механизм, ограничивающий развитие ускоренного дрейфа и имеющий более сильное, чем зрительная обратная связь, тоническое действие. Роль такого механизма выполняет «система центрации» взора (Bender, 1955), которая стремится удержать глаза в позиции покоя, или равновесия действующих сил (глаза ориентированы в направлении «прямо — перед головой»). Эффект центральной установки глаз закреплен в понятиях «рефлекс ориентации осей» (Brown, 1922), «средняя позиция глаза» (Weinstein, Bender, 1948), «реакция

пробуждения» (Smith, 1949) и др. В реальной жизненной ситуации центрация глаз относительно головы является составным компонентом их общей активности. Фиксационный поворот в направлении латерально расположенного предмета инициирует поворот головы в том же направлении, а произвольное или непроизвольное перемещение головы компенсируется соответствующими движениями глаз (Bizzi, 1974). Исследование зависимостей поворотов головы от смещения предмета в зрительном поле показывает, что существует линейное отношение между (а) амплитудой смещения предмета и амплитудой поворота головы, (б) амплитудой и скоростью поворота головы (Bizzi, Kalil, Morasso, Togliasco, 1972). Более того, движения глаз способны с точностью до нескольких угловых минут скомпенсировать малоамплитудные повороты головы (Steinman, 1976; Winterson, Steinman, Skavenski, Hansen, Robinson, 1975). Вестибуло-окулярные движения обладают исключительно низким латентным периодом (около 10мс), а целенаправленный поворот головы начинается спустя 20–40 мс после начала целенаправленной саккады (Bizzi, Kalil, Togliasco, 1972). Это значит, что глаз достигает и удерживает зрительное направление предмета во время движения головы; причем точная зрительная фиксация обеспечивается компенсаторным поворотом глаз в обратном направлении с той же скоростью (в диапазоне скоростей плавных движений). Можно предположить, что координированные повороты глаз и головы не только опираются на информацию об их относительном положении, но и предполагают единый процесс формирования двигательных команд; обратная связь в данном случае обеспечивается преимущественно вестибулярным контуром регулирования.

При ограничении движений головы — традиционном условии окулографии — центрация также сохраняется: положение головы скрыто присутствует и влияет на перемещения глаз (Bizzi, Kalil, Morasso, Togliasco, 1972). В условиях измененного направления зрительной обратной связи это находит выражение в стремлении ускоренно дрейфующего глаза к позиции покоя. Если первоначальное движение направлено в сторону центральной позиции, то благодаря этой тенденции оно получает дополнительное ускорение; после же того, как центральная позиция оказывается пройденной, дальнейшее скольжение глаза тормозится и, в конечном счете, меняет направление движения. По существу, центрирующая система ограничивает возможности смещения взора, устанавливая *функциональную границу* окуломоторной активности.

Крупноамплитудные эллиптические вращения появляются в результате двух разнонаправленных процессов: (1) тонического смещения глаз, не ограниченного жесткой привязкой к конкретному направлению, и (2) тенденции занять центральное положение в орбитах. Так же, как и инверсионный нистагм, этот тип активности представляет собой форму диссонанса, но уже внутри «плавной» подсистемы ГДС: между вестибуло-окулярным, зрительным и проприоцептивным контурами регулирования. Условием их возникновения является такая стратегия восприятия, которая позволяет сканировать предметы без изменения направления глаз. Это тот случай, когда наблюдателя просят фиксировать какой-либо предмет и одновременно оценивать события, протекающие на периферии поля зрения. При данном способе восприятия конфликт между зрительным и окуломоторным направлениями предмета отсутствует либо выражен в минимальной степени, а наблюдатель принимает режим прослеживания видимых перемещений объективно неподвижной среды. Так же, как и инвенрсионный нистагм, крупноамплитудные вращения могут носить произвольный и непроизвольный характер, но в любом случае разрушаются через 200–300 мс после исчезновения оптической стимуляции (Барабанщиков, 1978). Аргументом в пользу прогнозирования эллиптических вращении может служить тот факт, что свыше 85% прерывающих их саккад ориентированы по ходу движения в сторону позиции покоя (см.: Dell'Osso, Daroff, 1975; 1976). Во время суперпозиций специфических окуломоторных структур быстрая фаза инверсионного нистагма может быть направлена как в сторону центра, так и от него.

Итак, изменение направления зрительной обратной связи ГДС как бы *расщепляет* единый процесс окуломоторной активности на отдельные образующие, действие которых ориентировано в разных направлениях. Диссоциация «плавной» и «саккадической» субсистем ГДС становится основанием инверсионного нистагма и малоамплитудных вращении глаз, диссоциация вестибуло-окулярного и зрительно-проприоцептивного контуров регулирования — крупноамплитудных эллиптических вращении. Надо, конечно, иметь в виду, что это лишь главные следствия искусственной трансформации зрительной обратной связи ГДС. Они могут модифицироваться под влиянием разнообразных обстоятельств, в частности, функциональной асимметрии ГДС, предпочтения наблюдателем той или иной стратегии восприятия, навыков произвольного контроля движений глаз, чувствительности вестибулярной системы, смещения центра комбинированной оптической системы глаз и др.

Окуломоторное поле человека

Завершая обсуждение механизмов управления движениями глаз в искусственных условиях изменения γ выскажем ряд замечаний общего характера.

Как бы сильно ни искажалось отношение сенсорных и окуломоторных компонентов восприятия человека, глазодвигательная активность не становится рефлекторно-случайной или неуправляемой. Подчиненность внешним и внутренним детерминантам движений глаз сохраняется, хотя и в преобразованном виде. С изменением γ изменяется *способ организации* окуломоторной системы, сонастроенность ее функциональных «узлов» и механизмов, принципы же функционирования самих «узлов» и механизмов остаются неизменными. Вступают в противоречие гибкие и жесткие звенья управления движениями, «плавная» и «саккадическая» ветви ГДС, вестибуло-окулярный, зрительный и проприоцептивный контуры регулирования, совокупное действие которых и определяет появление необычных, на первый взгляд, окуломоторных структур.

С увеличением $|\gamma|$ ГДС действительно теряет привычную устойчивость, но не за счет абсолютного разрушения движений (их хаоса), а путем перехода на *иной уровень устойчивости*. Несмотря на невозможность фиксации (в принятом понимании) взора, глазодвигательная активность развертывается в ограниченной области окуломоторного поля, имеет регулярный характер и позволяет (пусть и неэффективно) решать достаточно широкий круг зрительных задач. Налицо необходимые предпосылки консервативной адаптации, снимающей противоречия ретино-окуломоторного отношения.

По сути дела, при трансформации направления зрительной обратной связи ГДС возникает *«эффект увеличения»* микродвижений глаз, реализующих устойчивую фиксацию предмета (Барабанщиков, 1997). Если в обычных условиях фиксация обеспечивается малоамплитудным дрейфом и микросаккадами, то при $|\gamma| > 90^\circ$ область фиксации занимает все более значительную часть окуломоторного поля и обеспечивается крупноамплитудным дрейфом и макросаккадами. При этом влияние основных детерминант микродвижений глаз (задачи, площади настройки зрительного внимания и др.) и закономерности их проявления (типология структур, наличие «зоны нечувствительности», различие в способах управления дрейфом и саккадами и др.) сохраняются. Раскрываемая параллель указывает на внутреннее *единство* окуломоторных микро- и макроструктур и це-

лесообразность переноса результатов исследования с одного уровня организации движений глаз на другой.

Преимущественная зависимость плавных движений глаз от эгоцентрического направления предмета, а также коррекция саккад в сторону уменьшения рассогласования зрительного и эгоцентрического направлений показывают, что изменения ориентации зрительного поля наблюдателя так или иначе учитывается при программировании и контроле движений глаз. Иными словами, пространственная организация среды дается наблюдателю не только в виде ее чувственного (зрительного) образа, но и в *организации самой окуломоторной активности*. Относительная независимоть зрительной и окуломоторной форм отражения действительности является залогом адаптивных преобразований ГДС и, очевидно, зрительной системы в целом. Здесь, по-видимому, лежит одно из оснований обратного влияния окуломоторики на процесс зрительного восприятия (порождения чувственного образа).

В обычных условиях обе формы тесно переплетаются, реализуя отношения субординации: зрительная данность среды позволяет наблюдателю ориентироваться и действовать в ней, окуломоторная репрезентация является основой построения адекватных движений глаз, обслуживающих зрительный процесс. Достаточно наглядно полиморфизм отражения выражается в эффектах иллюзорного восприятия, сопровождающих точную фиксацию предмета (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Луук, Барабанщиков, Белопольский, 1977; Барабанщиков, 1978; Matin, 1972; Miller, 1980; Herchberger, 1987).

Полученный эмпирический материал позволяет уточнить структуру и свойства *окуломоторного поля* человека, представляющего совокупность всех возможных направлений глаз при неизменной позиции головы.

Во-первых, окуломоторное поле имеет не только морфологическую, но и *функциональную границу,* которая «очерчивает» область оптимальных поворотов глаз относительно головы и предохраняет ГДС от малоэффективной работы в предельных режимах (зона морфологической границы). В наших экспериментах существование фиксационной границы проявилось в факте устойчивых (по амплитуде и частоте) крупноамплитудных вращений и в характеристике предельных отклонений глаз во время нистагма. Согласно полученным данным, функциональная граница устанавливается на расстоянии не более 25–30° (по горизонтальному меридиану) от «позиции покоя».

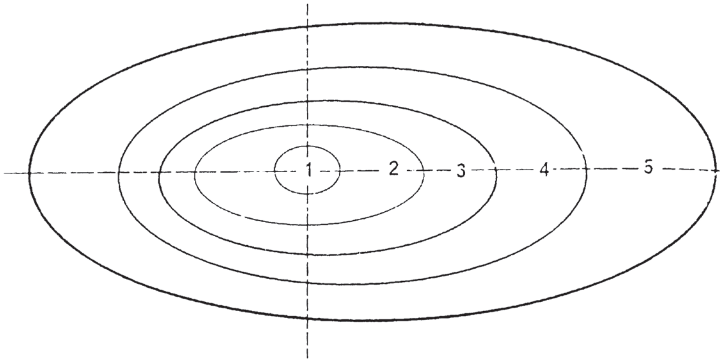


Рис. 7.22. Схематическое изображение структуры окуломоторного поля: 1 — центральная область, 2 — парацентральная область, 3 — зона оптимальных поворотов, 4 — функциональная граница, 5 — морфологическая граница

Во-вторых, окуломоторное поле *неоднородно*. Чем эксцентричнее расположен предмет восприятия, тем продолжительнее фиксационный поворот глаз, большее число саккад входит в его состав (Гуревич, 1971; Митрани, 1973), выше скорость дрейфового компонента (см. также: Белопольский, Вергилес, 1979; Белопольский, 1985; Becker, Klin, 1973; Barns, Gresty, 1973) и выраженное влияние «центрирующей системы взора» (Bender, 1955). Оптимальные саккадические повороты глаз, как правило, не превышают 15° (Bahill, Adler, Stark, 1975). К проявлению неоднородности окуломоторного поля относятся разнообразные феномены, имеющие место в парацентральной (до 6°) области, например, прямо пропорциональное увеличение скорости скольжения глаз с увеличением расстояния до воспринимаемого предмета (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975) или возникновение малоамплитудных затухающих движений глаз на узком участке γ ($90° < |\gamma| < 135°$), а также внутрипороговые эффекты смещения глаз (Гиппенрейтер, 1978; Глезер, 1985; Ditchburn, 1973; Steinman, Haddad, Skavenski, Wyman, 1973). Эти особенности позволяют наметить несколько функционально различных зон окуломоторного поля (рисунок 7.22): а) центральную область, включающую зону нечувствительности (от нескольких угловых минут до 1–1.5°); б) парацентральную область (до 3–6°), в) зону оптимальных поворотов (до 12–15°), г) область, прилегающую к функциональной границе окуломоторного поля (до 25–30°) и д) зону морфологической границы (до 45–50°).

В-третьих, окуломоторное поле *асимметрично*. Обычно «позиция покоя» смещена к нозальной части, инверсионный нистагм имеет преимущественное направление, а подготовка произвольного поворота глаз в зависимости от направления требует разного времени. Выражением данного свойства является и асимметрия действия различных типов детерминант на амплитуду первой саккады (Барабанщиков, Милад, 1975). Асимметрия затрагивает не только отношение «право — лево», но и «вертикаль — горизонталь» окуломоторного поля. Горизонтальная составляющая имеет большую размерность, чем вертикальная, что находит выражение, например, в «вытянутости» эллиптических крупноамплитудных вращений глаз вдоль горизонтальной оси или меньшей средней амплитуде вертикальных саккад.

В-четвертых, окуломоторное поле *динамично*. Имеется в виду не только широкая вариативность параметров движений глаз, определяющая подвижность выделенных выше зон, но и их способность перестраиваться в ходе выполнения окуломоторного акта.

Нетрудно заметить, что функциональные структуры окуломоторного и зрительного полей во многом сходны. Как и окуломоторное, зрительное поле неоднородно, асимметрично и очень динамично (Рыбалко, 1969; Барабанщиков, 1990; Edwards, Goolkasian, 1974). Подобно отношению «зрительное поле — взор (функциональное поле зрения)» в двигательной сфере складывается отношение «окуломоторное поле — оперативная зона фиксаций». Единство зрительных и окуломоторных компонентов перцептивного процесса находит здесь еще одно подтверждение.

7.6. Нестационарность глазодвигательной системы и организация окуломоторной активности

В данной главе были рассмотрены внутренние условия выполнения целенаправленных поворотов глаз. Искусственно меняя свойства канала зрительной обратной связи ГДС, мы попытались вывести ее из стационарного состояния для того, чтобы выявить (1) основные феномены и механизмы работы ГДС в необычных обстоятельствах, (2) условия реализации и восстановления целенаправленной окуломоторной активности, а также (3) последствия

дискоординации движений глаз для организации зрительного перцептивного процесса в целом. Итоги проведенных исследований можно суммировать следующим образом.

С изменением направления зрительной обратной связи ($\gamma \neq 0$) фиксационный поворот глаз в сторону предмета восприятия «растягивается» в пространстве и времени. Его траектория, составленная из возрастающего числа саккад и ускоренных дрейфов, приобретает спиралевидный характер; чем больше γ, тем выше амплитуда и больше витков «спирали». Начиная с $|\gamma|=90°$ устойчивой фиксации предмета предшествуют малоамплитудные (3–6°) затухающие вращения глаз. При $|\gamma|>120–135°$ зрительно контролируемый произвольный поворот глаз полностью разрушается, а устойчивая фиксация становится невозможной.

Трансформация фиксационного поворота сопровождается возрастанием роли плавного компонента движений глаз (дрейфа) в структуре окуломоторной активности. С увеличением $|\gamma|$ его скорость увеличивается до 60–80°/с, а амплитуда — до 50°. Развитие плавного компонента ведет к порождению специфических окуломоторных структур: (1) пилообразного нистагма и его производных (паранистагма), (2) малоамплитудных затухающих и (3) незатухающих (седлообразных) колебаний, а также (4) крупноамплитудных эллиптических вращении глаз. Нистагмоидные движения формируются при $|\gamma|=90°$ и постепенно становятся основной окуломоторной структурой. Элементы высокоамплитудных плавных колебаний появляются вместо седлообразных дрейфов при $|\gamma|=135°$ и с увеличением $|\gamma|$ оформляются в эллиптические вращения глаз. Возникнув при $|\gamma|=90°$, затухающие колебания, предшествующие устойчивой фиксации, достигают максимума развития (наибольшей амплитуды и длительности) при $|\gamma|=120–135°$, а затем исчезают. Начиная с $|\gamma|=120–135°$, целенаправленные повороты и фиксации глаз полностью замещаются специфическими окуломоторными структурами.

Выявленное несоответствие поворотов глаз пространственным характеристикам проксимальной стимуляции (окуломоторная «систематическая ошибка») позволяет дифференцировать две формы окуломоторной адаптации: оперативную и консервативную. Первая выражается в корректировке параметров выполняемого поворота и осуществляется практически сразу же с изменением условий регуляции движений глаз. Однако ее возможности довольно ограничены. Вторая форма предполагает перестройку всей организации окуломо-

торного акта, требует иных средств и более продолжительного времени. Оперативные преобразования опережают консервативные и задают направление их развертывания, консервативные — закрепляют новую организацию зрительно-окуломоторных отношений и становятся гарантом ее устойчивости.

Феноменология и продолжительность адаптации ГДС зависят от величины угла вращения оптической системы координат (γ): чем больше γ, тем тяжелее и продолжительнее протекает адаптационный процесс.

Адаптивная природа ГДС проявляется в трех планах: (1) поиске адекватного направления глаз, обеспечивающего эффективное решение зрительной задачи, (2) в оптимизации способа достижения необходимого направления в ходе повторного обращения к задаче и (3) в регулировании окуломоторного направления по отклонению от зрительно заданного. Соответственно ГДС выступает как поисковая, обучающаяся и следящая система. Если в процессе поиска устанавливается новая схема зрительно-окуломоторных координации, видоизменяется программа и критерии выполнения целенаправленных поворотов глаз, то научение закрепляет и оптимизирует найденное решение, а регуляция опирается на него как на основу и норму функционирования. Поскольку окуломоторная система содержит подвижные и относительно устойчивые связи, и поиск, и научение могут протекать в оперативной и консервативной формах.

Взятый по отношению к наблюдателю фиксационный поворот глаз выступает как окуломоторный навык — умение выполнить зрительную задачу с требуемой точностью и скоростью. Его восстановление включает следующие этапы:

- компенсация обнаруженного рассогласования (за счет: увеличения общего объема движений, снижения амплитуды и корректировки направления саккад, увеличения амплитуды и скорости дрейфа, тенденции плавного перемещения глаз в сторону эгоцентрического направления предмета и др.);
- оптимизация двигательного состава фиксационного поворота глаз (через сокращение в ходе повторений объема движений и большую адекватность окуломоторного и эгоцентрического направлений);
- закрепление и стабилизация навыка (проявляется в возможности переноса целенаправленных движений на широкий круг ситуаций и в эффектах последействия).

Постепенное снижение устойчивости ГДС с увеличением $|\gamma|$ обусловлено диссоциацией движений, реализующих целенаправленный поворот глаз. Поскольку дрейфы согласуются преимущественно с эгоцентрическим, а саккады — со зрительным направлением предмета, образуются два пространственно разнесенных «центра тяжести», одновременно определяющие поворот глаз при $\gamma \neq 0$. С ростом $|\gamma|$ пространственная разнесенность центров увеличивается, а обычные окуломоторные структуры (дрейф — саккада — дрейф) преобразуются в нистагмоидные движения. В ограниченной области (3–6°) зрительно выделяемый предмет способен инициировать не только саккадические, но и плавные перемещения глаз, причем эгоцентрическое направление оказывает более сильное тоническое действие, чем зрительное. Эти обстоятельства образуют основание малоамплитудных затухающих вращении, предваряющих устойчивую фиксацию предмета. Условием возникновения нистагма и затухающих вращении является стратегия активного восприятия: направленное выделение наблюдателем предметов, имеющих небольшие угловые размеры, концентрация зрительного внимания и, как следствие, наличие узкой зоны оперативных фиксаций. Крупноамплитудные эллиптические вращения, а до них — незатухающие седлообразные колебания являются результатом двух разнонаправленных процессов: (1) тонического смещения глаз, не ограниченного жесткой привязкой к определенному направлению и (2) центрации глаз относительно головы. Они возникают при использовании стратегии созерцательного восприятия: симультанного «охвата» предметов, имеющих большие угловые размеры, распределении зрительного внимания и/или релаксации наблюдателя.

С изменением $|\gamma|$ разрушается координация функциональных узлов и механизмов ГДС. Вступают в противоречие ее гибкие и жесткие звенья, «плавная» и «саккадическая» ветви, вестибуло-окулярный, зрительный и проприоцептивный контуры регулирования. При этом принципы их собственной работы остаются неизменными. ГДС оказывается на более низком уровне организации и устойчивости, который тем не менее сохраняет возможность выполнения наблюдателем (пусть и неэффективно на первых порах) зрительных и двигательных задач. Залогом адаптивных преобразований ГДС является относительная независимость зрительной и окуломоторной форм отражения действительности.

Полученный материал позволяет конкретизировать представления об окуломоторном поле наблюдателя. Оно имеет не только

морфологическую, но и функциональную границу, неоднородно, асимметрично, динамично. Топография окуломоторного поля включает пять функционально различных зон: 1) центральную область (до 1–1.5°), 2) парацентральную область (до 3–6°), 3) зону оптимальных поворотов (до 12–15°), 4) область, прилегающую к функциональной границе (до 25–30°) и 5) зону морфологической границы (до 45–50°). Свойства и функциональное строение окуломоторного и зрительного полей подобны.

Проведенные исследования раскрывают методические возможности процедуры оптической трансформации направления зрительной обратной связи ГДС.

Во-первых, она позволяет как бы развернуть автоматизированные процессы решения зрительных задач, которые в обычных условиях протекают в течение очень короткого времени и плохо поддаются психологическому анализу. При использовании оптической техники окуломоторные операции, выполняемые под зрительным контролем, переводятся в ранг действия (А.Н. Леонтьев).

Во-вторых, данная процедура позволяет преобразовать обычную окулограмму в последовательность стандартизированных окуломоторных структур, в которых отражаются особенности способа восприятия и выполняемых наблюдателем перцептивных операций: а) возможность визуального выделения либо предмета в целом, либо его частей, б) оперирование либо с элементами зрительного поля, либо с элементами мысленно конструируемой ситуации и др. Значения амплитудно-частотных характеристик необычных окуломоторных структур позволяют идентифицировать область актуально выделяемых элементов зрительного поля и их величину. Можно полагать, что данный метод применим не только в исследовательских, но и в диагностических целях, например, при оценке уровня сформированности перцептивного действия и спецификации входящих в него операций.

В-третьих, в контексте проблемы зрительной адаптации процедура вращения оптической системы координат обеспечивает не только условие рассогласования человека с окружающим его миром, но и упражняемость зрительной перцептивной системы, и индикацию ее переучивания в терминах динамики окуломоторных структур.

В-четвертых, принципиальное значение указанной процедуры для исследований ГДС заключается в возможности разделения и противопоставления зрительных (оптических) и незрительных детерминант зрительно-окуломоторной интеграции (процессы адаптации,

механизмы управления движениями глаз, способы их включения в процесс зрительного восприятия и т.п.), а также ее связи с вестибулярной и другими системами ориентировки индивида в среде.

Оптическая трансформация зрительной обратной связи ГДС вызывает цепь преобразований окуломоторной активности, зрительного восприятия и действий человека. Охватывая процессы разных уровней организации, предоставляя возможность исследователю учитывать и соотносить явления различной природы, данная процедура выступает как разновидность эмпирического метода системного анализа чувственного познания и деятельности человека.

Глава 8. РОЛЬ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ В ПРОЦЕССЕ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Распространено мнение, что существует простая и однозначная связь между движением/направленностью глаз и характеристиками зрительного образа. Однако восприятие обладает множеством аспектов, свойств и характеристик, т.е. является системным образованием. Это событие жизни человека, которое инициируется потребностью в определенной информации, предполагает репрезентированность модально-качественных, пространственно-временных и предметно-функциональных свойств объекта, опирается на прошлый опыт индивида, развертывается в соответствии с планом (гипотезой), положенным в основу установки, протекает на разных уровнях организации и т.д. и т.п. С каким же измерением (стороной, свойством, аспектом) восприятия соотносимы движения глаз? На каком уровне? На какой фазе процесса?

Вместе с тем существует по крайней мере восемь видов движений глаз (тремор, дрейф, микро- и макросаккады, следящие, вергентные, торзионные движения, нистагм), каждый из которых обладает своими биомеханическими характеристиками: амплитудой, скоростью, траекторией и др. Организованные в структуры они имеют иерархическое строение, особую логику развертывания, содержат конативные, когнитивные и диспозиционные компоненты. Поэтому и здесь возникают аналогичные вопросы. Какие виды движений глаз и их параметры влияют на процесс восприятия? На каком уровне организации или фазе процесса? Каков механизм включения окуломоторики в процесс порождения зрительного образа?

В настоящее время обсуждаемая проблема достигла такого уровня развития, когда сама по себе ссылка на некоторую абстрактную «роль движений глаз в восприятии» стала явно недостаточной. Необходима не просто констатация связи движений глаз и зрительного восприятия, а систематический анализ этого факта, вскрывающий способ развертывания окуломоторных структур в живом процессе

зрительного восприятия. Только в этом случае открывается возможность использования глазодвигательной активности в качестве психологически обоснованного метода исследования перцептивного процесса. Обсуждение этих вопросов, представленное в данной главе, будет опираться на результаты экспериментов с оптической трансформацией направления фиксационных поворотов глаз,

8.1. Окуломоторные структуры и стабильность воспринимаемого мира

Рассмотрим, как связана окуломоторная активность с восприятием стабильности/движения окружающего мира. Напомним, что искусственное преобразование оптической системы координат сетчатки инициирует цепь последовательных нарушений регуляции движений глаз зрительного восприятия и поведения, в результате которых человек оказывается в парадоксальном видимом мире. В нем изменена действительная локализация предметов, отсутствует константность восприятия, потеряна способность произвольного управления взором, но существует возможность непосредственного переживания эффектов перемещения собственных глаз. Особенности ориентировки в виртуальном мире, характер нарушений и восстановления зрительного процесса проливают свет на закономерности перцептивно-окуломоторных отношений.

Реафферентация или зрительная кинестезия?

Условия проведенного исследования в некоторых существенных отношениях ($\gamma = \pm 180^\circ$) воспроизводят условия экспериментов Е.Э. Хольста и Г.Х. Миттельштадта (Holst, 1954; Holst, Mittelstaedt, 1973), а также Р.Р. Сперри (Sperry, 1943; 1950), которые показали, что различные преобразования канала зрительной обратной связи оптомоторной системы низших животных ведут к нарушению привычных форм поведения. Например, если голову насекомого повернуть на 180° вокруг продольной оси тела и зафиксировать относительно грудной клетки, то при спонтанной локомоции в гетерогенной среде, начав движение, оно будет кружиться на месте до истощения. Сход-

ные эффекты наблюдаются у рыб и амфибий, глаза которых поворачиваются на 180° вокруг оптической оси. На основании полученных данных, исследователи пришли к заключению, что двигательные акты управляются посредством зрительной обратной связи, а конкретный поведенческий акт строится как процесс взаимокомпенсации, или согласования, двигательной (эфферентной) и оптической (реафферентной) информации. Иллюстрируя универсальность теоретической модели, авторы распространили ее на объяснение феноменов стабильности воспринимаемого мира, хотя специальных экспериментов в этой области не проводили. Именно в работах Э. Хольста, Х. Миттельштадта и Р. Сперри принцип обратной связи (реафферентации) выступил в двух «ипостасях»: как механизм управления окуломоторной активностью и как механизм константности зрительного направления.

Необходимо отметить, что идея согласования ретинальной и экстаретинальной (эфферентной) информации не является оригинальной (Мах, 1907; Helmholtz, 1962). Заслуга Э. Хольста и Х. Миттельштадта заключается в предположении более определенного характера ретино-окуломоторного взаимодействия и, что самое главное, в попытке распространить общебиологические закономерности на сенсомоторные отношения зрительной системы. Тем самым идея приобретала известную всеобщность, которой не было в классических концепциях Э. Маха и Г. Гельмгольца. Вместе с тем сами экспериментальные данные Э. Хольста и.Х. Миттельштадта до сих пор остаются лишь базой для удобных аналогий между поведением низших животных и особенностями зрительного восприятия человека.

Нетрудно заметить, что характер глазодвигательной активности человека в условиях положительной зрительной обратной связи ГДС лишь отдаленно напоминает преобразованное поведение насекомых или земноводных. Если у последних инверсия зрительной обратной связи вызывает безостановочное кружение на месте, то полное вращение глаза человека вокруг своей вертикальной оси принципиально невозможно. Трансформация зрительной обратной связи ГДС человека вызывает ряд специфических окуломоторных структур, возможность их переключения и широкое варьирование параметров движений, которые отсутствуют у животных с преформированными оптомоторными связями. «Кружение на месте» прямо сопоставимо лишь с крупноамплитудными эллиптическими вращениями глаз: обе формы активности выражают процесс автоколебаний. Очевидно, что зрительная система человека обладает не только большей гибкостью, но и имеет

иной по сравнению с поведением низших животных способ организации движений. Поэтому теория, претендующая на адекватное объяснение стабильности воспринимаемого мира, должна учитывать как общебиологические (кибернетические) закономерности, так и специфические механизмы управления моторикой глаз.

Существует и другая сторона проблемы. Верификация и развитие концептуальных представлений Э. Хольста, Х. Миттельштадта и Р. Сперри, как правило, выполняются на экспериментальных моделях, редуцирующих зрительную стимуляцию до отдельного точечного источника (см.: Coren, Bradley, Hoenig, Girgus, 1975; Bradley, 1977; Festinger, Easton, 1974; Festinger, Sedgwick, Holtzman, 1976; Hershberger, 1976; 1987; Mack, Fendrich, Sirigatti, 1973; Mack, Herman, 1972; 1973; Matin, 1972; Morrison, 1984; Pola, 1976; Shebilske, 1976; Skavenski, 1972, 1976; Stark, Bridgeman, 1983). Это ставит исследователей перед проблемой релевантности, или экологической валидности, получаемых результатов (Гибсон 1988; Brunswik, 1956; Gibson, 1966). Сохранятся ли обнаруживаемые ретино-окуломоторные отношения в условиях обычной жизненной ситуации, когда наблюдатель воспринимает и действует в оптически структурированной предметно оформленной среде? Не случайно концепция непосредственного восприятия, базирующаяся на принципе экологической валидности, полностью игнорирует любые теории «принятия в учет» (см.: Гибсон, 1988; Gibson, 1966).

С точки зрения Дж. Гибсона, для объяснения феномена стабильности нет необходимости обращаться к ретинальному и экстраретинальному источникам информации и допускать особые процессы сравнения, конселляции или оценки. Мир стабилен сам по себе, и информация об этом содержится в объемлющем наблюдателя оптическом строе. Вопрос лишь в форме ее представления и способе извлечения наблюдателем. По Дж. Гибсону, информация о стабильности мира заключена в инвариантах трансформаций оптического строя, вызываемых перемещениями наблюдателя и его органов чувств (зрительная кинестезия). Повороты глаз и головы сопровождаются соответствующим «скольжением» и «кручением» поля зрения — своеобразной выборкой объемлющего строя, во время которых меняется содержание оптической структуры: какие-то элементы заслоняются, какие-то — становятся видимыми, что-то воспринимается более ясно и отчетливо, что-то оказывается неразличимым, определенным образом меняются их скорость и ускорение. Окуломоторная активность реализует особый тип поведения, который не запускается внешними стимулами или

внутренними командами, а управляется: направляется и удерживается в определенных границах соответствующей информацией. «Зрительная кинестезия», следовательно, имеет два плана; один касается стабильности/движения окружающей среды, другой — остановки/перемещения наблюдателя либо активности его органов чувств. Движение среды предполагает локальные, перемещения наблюдателя (его глаз, головы) — глобальные изменения структуры объемлющего оптического строя. В отличие от зрительной обратной связи зрительная кинестезия сопровождает не только активные, но и пассивные движения наблюдателя (его органов чувств).

Несмотря на то, что гипотеза константности зрительного направления была сформулирована Дж. Гибсоном еще в 1950-е годы (Gibson, 1950; 1954), специальных экспериментов, направленных на ее прямую верификацию, проводилось мало. Эмпирические исследования зрительной кинестезии касаются в основном активного либо навязанного передвижения наблюдателя, вращения и наклона его тела и головы (Gibson, Mowrer, 1938; Gibson, 1950; Gibson, 1957; Lishman, Lee, 1973; Lee, 1974). Лишь сравнительно недавно появились работы, непосредственно рассматривающие влияние движений глаз, вернее, перемены точки фиксации на преобразования оптического строя (Rieger, Toet, 1985; Cutting, 1986; Koenderink, 1986; Warren, Hannon, 1990; Wertheim, 1990; Waren, Mestre, Blackwell, Moris, 1991; Bingham, 1993). Такое положение дел вполне соответствует общему подходу основателя экологической оптики, согласно которому необходимо анализировать не движения глаз как таковые, а ту перцептивную систему, в которую они включены, в частности, систему «глаз — голова». Между тем очевидно, что движения глаз имеют особый пространственно-временной режим и уникальные формы проявления, а значит, способны инициировать специфические трансформации объемлющего оптического строя. Как они выглядят и действительно ли извлекаются наблюдателем — остается невыясненным.

Стабильность воспринимаемого мира как функция направления зрительной обратной связи

Процедура оптической трансформации направления зрительной обратной связи, использованная в нашем исследовании, несет двойную нагрузку. С одной стороны, она реализует экспериментальную парадигму Э. Хольста, Х. Миттельштадта и Р. Сперри

применительно к анализу зрительной системы человека, с другой — является средством проверки гипотезы Дж. Гибсона применительно к условиям окуломоторной активности. Принцип реафферентации и принцип зрительной кинестезии, задающие альтернативные подходы к механизмам стабильности воспринимаемого мира и управления движениями глаз, оказываются здесь в одном и том же экспериментальном пространстве и могут быть сопоставлены на одном и том же эмпирическом материале. Для того чтобы определить, который из них соответствует действительности и в какой степени, обратимся к анализу результатов нашего эксперимента, касающихся константности зрительного направления.

1. *При монотонном увеличении* $|\gamma|$ *восприятие кажущегося движения (аконстантность зрительного направления) обнаруживается начиная с* $45° < |\gamma| \leq 90°$. Несмотря на сложный состав фиксационного поворота глаз, необычность пространственно-временного паттерна движений и высокую скорость плавного компонента (в 2–4 раза выше обычной), до этого значения тестовые объекты переживаются как неподвижные.

Критическое значение $|\gamma|$ зарегистрированное в наших экспериментах, почти на порядок превышает пороговое $|\gamma_o|$, измеренное для вертикальных и горизонтальных саккад в других исследованиях (Mack, 1970; Matin, 1972; Whipple, Wallach, 1978). Данный факт отражает действие структурных (оптических) факторов, или, в терминах Дж. Гибсона, переменных «высшего порядка», влияние которых в указанных исследованиях нивелировалось. Между тем искажения восприятия точечных источников света довольно редко проявляются в условиях хорошо структурированного фона. Например, согласно данным, полученным в лаборатории Л. Матина, освещенное зрительное поле маскирует даже иллюзорное смещение объектов, возникающее при попытке двигать частично или полностью парализованным глазом (Matin, Picoult, Stevens, Edwards, Young, McArthur, 1982, см. также: Stark, Bridgeman, 1983). Феномен «зрительного плена» — доминирование зрительной модальности над кинестезией — имеет, по-видимому, глубокие основания в самой природе сенсорно-перцептивной организации человека (Ананьев, 1982; Бавро, 1993; Harris, 1974; Welch, 1978).

Как следует из наших данных, переменные «высшего порядка» вносят больший вклад в поддержание константности зрительного направления, чем простое ретино-окуломоторное соответствие (см.: Epstein, 1973; Shebilske, 1978). Вместе с тем их действие небес-

предельно: начиная с $|\gamma|=90^\circ$ влияние переменных «высшего порядка» снимается. Значительное нарушение ретино-окуломоторного соответствия оказывается более сильным фактором восприятия.

Следовательно, в экспериментально сконструированной ситуации могут реализовываться как принцип реафферентации, так и принцип зрительной кинестезии, но роль каждого из них будет различной. Первый стимулирует разрушение стабильности (через трансформацию зрительной обратной связи), второй — ее сохранение (путем включения в процесс структурных и, возможно, динамических эффектов зрительного поля).

Учитывая, что перцептивная стабильность сохраняется на участке, занимающем половину значений γ, в рассмотренных условиях вряд ли целесообразно говорить о пороговых величинах константности зрительного направления. Фактически мы имеем дело с *диапазоном* стабильного восприятия, внутри которого допустимы любые соотношения параметров окуломоторики и сопровождающих ее смещений проекции предметов по сетчатке. Это естественная мера соответствия направлений движений глаз и смещения ретинального образа в экологически валидной ситуации.

Зонная природа стабильности восприятия представляет собой как бы обратную сторону адаптивности окуломоторного акта. Если фиксационный поворот глаз способен оперативно приспосабливаться к новым условиях регулирования, то зрительная система как целое должна учитывать эту возможность. В противном случае пластичные изменения ГДС проявились бы в нарушении стабильности и были бы малополезны. Наоборот, «если параметры движений глаз и соответствующего им смещения ретинального образа относительно независимы и в рамках определенного диапазона их рассогласование не влияет на константность зрительного направления, создаются внутренние (перцептивные) предпосылки для адаптивных преобразований ГДС.

2. *Стабильность зрительного восприятия нарушается до того, как исчезает способность к устойчивой фиксации предмета ($\Delta\gamma=30-45^\circ$); эффект аконстантного восприятия растет с увеличением абсолютного значения γ.*

Этот факт раскрывает биологическое значение нестабильного восприятия: сигнализация о более или менее серьезных нарушениях зрительной системы. Можно предположить, что адресованная организму как целому эта сигнализации ведет к мобилизации более широких ресурсов и средств адаптации по сравнению с теми, кото-

рыми располагает ГДС. Если в диапазоне стабильного восприятия ($-90° < \gamma < 90°$) искажение зрительной обратной связи компенсируется увеличением объема движений и оперативной перестройкой ретино-окуломоторной связи ГДС, то за ее пределами данные средства становятся все менее и менее эффективными. Действительно, при $|\gamma| = 90°$ фиксация заданного элемента среды может продолжаться десятки секунд, что в сотни раз превышает длительность обычного фиксационного поворота и, следовательно, биологически нецелесообразна. Для того чтобы справиться с возникшей ситуацией, необходимо усилить компенсаторные процессы и генерализовать процесс адаптации. Это предполагает наряду с преобразованием ГДС изменение ее межсистемых связей, а также способов ориентации и поведения индивида в окружающей среде. Чем больше искажена зрительная обратная связь, чем более трудным или даже невозможным становится достижение глазодвигательной цели, тем ярче проявления нестабильности восприятия и сильнее потребность в компенсациях. С этой точки зрения стабильное восприятие является критерием не только адекватного отражения действительности, но и нормального функционирования зрительной системы человека в целом.

3. *Начиная с $|\gamma| = 90°$ нарушение стабильности восприятия сопровождает любые макродвижения глаз безотносительно к структуре окуломоторной активности.* Исключение составляют продолжительные моменты устойчивой фиксации, которые с увеличением $|\gamma|$ сокращаются; скорость дрейфа при этом не выходит за пределы 3°/с.

Это означает, что содержание эфферентаций как в случае элементарных движений (активных или пассивных), так и в случае сложноорганизованных глазодвигательных актов (реализующих многоуровневые отношения наблюдателя со средой) не влияет на сохранение константности зрительного направления. Переживание движения видимого мира индифферентно к эфферентному сигналу или его когнитивным аналогам (схемам, программам) и определяется только значением γ. Данный результат противоречит как положениям теорий, базирующихся на принципе реафферентации, так и когнитивно ориентированным концепциям стабильности. Сравнительно просто его можно было бы проинтерпретировать с позиции принципа «зрительной кинестезии»: перемещения глаз вызывают эквивалентные преобразования оптического строя, которые и становятся информационной основой иллюзорного восприятия. Но если это так, то почему один и тот же принцип «работает» и на сохранение константности зрительного направления, и на выделение кажущегося движения? Почему,

когда устойчивая фиксация достигается ($90° < |\gamma| < 135°$), предмет на короткое время вновь кажется неподвижным? Другое объяснение состоит в том, что при выходе за рамки диапазона стабильности усиливаются и доминируют афферентные потоки, несущие информацию о состоянии экстраокулярных мышц (Shebilske, 1977; Rolund, 1978; Hershberger, 1984). В этом случае проблема упирается в конкретное соотношение (направлений и скорости) смещений ретинального образа и поворота глаз, анализ которого будет проведен ниже.

Складывается впечатление, что необходимым условием аконстантного восприятия являются не определенные значения γ сами по себе, а определенные значения скорости и амплитуды относительного смещения ретинального образа. Подобные отношения имеют место и в условиях частичной инверсии зрительной обратной связи ГДС при освещении предметов стробоскопическим светом (Барабанщиков, 1983).

4. *Характер кажущегося движения элементов среды во время саккад и плавных поворотов глаз неодинаков.* Восприятие непрерывного движения сопровождает только плавные повороты глаз. При саккадах воспринимаемые элементы дискретно меняют свою ориентацию и положение в поле зрения. Резкое, смазанное смещение как таковое воспринимается только при специальной инструкции, требующей от испытуемого констатировать факт непрерывного движения предметов во время скачка, преимущественно при $|\gamma| = 180°$.

Следовательно, существуют *две формы аконстантного восприятия:* (1) восприятие движения и (2) восприятие изменения местоположения объективно неподвижных элементов среды, причем выполнение саккады допускает наличие обеих форм. Последнее обстоятельство представляется особенно важным. Нередко в самом факте неподвижности воспринимаемого мира во время скачка глаз усматривается естественное доказательство либо окуломоторной компенсации непрерывного движения ретинального образа, либо явления зрительной кинестезии (инвариантов высшего порядка). Как мы убедились, в условиях хорошо структурированного зрительного поля непрерывное движение не воспринимается ни при значительном рассогласовании направлений смещения ретинального образа и саккады ($90° < \gamma < 180°$), ни при резком смещении всего зрительного поля. Существенным фактором в данном случае оказывается установка наблюдателя на восприятие сверхбыстрого движения, которая при благоприятных условиях дает положительный эффект. По-видимому, в обычной ситуации возможность восприятия движения во время

скачка остается либо нереализованной, либо снимается на более высоких уровнях организации перцептивного процесса. В определенной степени этому содействуют явления саккадического подавления (Луук, Романюта, 1972; Matin, 1974) и маскировки (MacKay, 1970; 1973).

Таким образом, прямые основания для постулирования механизмов компенсации движения или зрительной кинестезии в рассмотренной экспериментальной ситуации отсутствуют. Не решает проблемы и обращение к механизму компенсации положения (Hering, 1879; Matin, 1972; Hershberger, 1987) или к принципу информационной инерции, согласно которому стабильность воспринимаемого мира верифицируется либо фальсифицируется посредством изменения локализации ретинального образа (Mackay, 1972; 1973). Анализ ограничений обеих концепций содержится в работах А. Луука, В. Барабанщикова, В. Белопольского (1977), А. Стоупера (Stioper, 1967), В. Шебильске (Shebilske, 1977) и др.; слабость их методологических оснований показана А.И. Миракяном (1990, 1992) и В.И. Пановым (1993, 1995). Добавим, что сами по себе указанные механизмы не способны обеспечить восприятия непрерывного движения среды, переживаемого при $|\gamma|=180°$.

5. С *увеличением* $|\gamma|$ *(*$|\gamma|>90°$ *) закономерно изменяются параметры (скорость, амплитуда, форма) воспринимаемого движения среды.*

Данный результат позволяет непосредственно обратиться к анализу причин, определяющих аконстантность зрительного направления. Как уже отмечалось, при инверсии зрительной обратной связи ГДС ($|\gamma|=180°$) векторная скорость кажущегося движения и перемещения глаз совпадают. С позиции принципа реафферентации этот феномен может быть объяснен двумя причинами: либо некомпенсируемым действием экстраретинального сигнала, либо некомпенсируемым смещением ретинального образа. Первая возможность означает, что перемещение проекции предметов по сетчатке не оказывает влияния на их восприятие, т.е. имеют место те же отношения, которые складываются и при восприятии объектов, стабилизированных относительно сетчатки (Зинченко, Вергилес, 1969; Ярбус, 1965; Dichtburn, 1973). Вторая возможность отрицает идею экстраретинального сигнала (в любой ее форме), а в качестве причины восприятия движения указывает на неконтролируемые (выходящие за рамки сложившейся зрительно-окуломоторной интеграции) перемещения ретинального образа, вызванного движениями глаз (Геринг,

1887; Shebilske, 1978). Последнее с определенными оговорками может быть описано и в терминах экологической оптики (Гибсон, 1988; Gibson, 1966).

Для разрешения этой дилеммы были проведены дополнительные эксперименты, в которых оценивались частота, скорость, амплитуда и направление воспринимаемого движения элементов среды при $|\gamma| = 90°$. Они включали две серии опытов. В первой испытуемые по команде экспериментатора совершали произвольные повороты глаз по горизонтали вправо и влево и указывали направление первого смещения воспринимаемого предмета. Предполагалось, что, если кажущееся движение обусловлено действием экстраретинального сигнала, то направление воспринимаемого смещения будет соответствовать направлению первой саккады; если его причиной является зрительная реафферентация сама по себе, то направление воспринимаемого смещения будет соответствовать направлению движения ретинального образа (под углом 90° относительно направления саккады); если же в данном процессе участвуют оба фактора одновременно, то вектор переживаемого движения займет некоторую промежуточную ориентацию (например, при равенстве величин ретинального и экстраретинального сигналов кажущееся движение будет восприниматься под углом 45° к направлению перемещения глаз). Во второй серии испытуемые располагались перед зеркалом на расстоянии 25–30 см и воспринимали собственное изображение как вооруженным, так и невооруженным глазом. Благодаря анизойконии и бинокулярному соревнованию, создавалась возможность наблюдения отраженных в зеркале двигательных эволюции присоски с призмой и перемещения изображения собственного лица, повернутого на 90° . Это позволило испытуемым непосредственно оценить степень соответствия угловой амплитуды, частоты и траектории специфических движений глаз параметрам кажущегося движения предмета (изображения лица).

Согласно полученным результатам, (1) воспринимаемые предметы перемещаются под углом 90° к направлению движения глаз, а (2) амплитуда, частота и траектория воспринимаемого смещения предметов тождественны соответствующим параметрам окуломоторной активности (испытуемые воспринимают синхронные колебания глаз и предмета в ортогональных направлениях). Альтернатива между действием экстраретинального и ретинального сигналов как причины восприятия движения разрешается в пользу последнего.

Воспользовавшись относительной простотой методики с зеркалом, мы протестировали соответствие параметров кажущегося движения и движений глаз на широком диапазоне γ ($90° < |\gamma| \leq 180°$). Дополнительные данные отличаются от предшествующих лишь направлением иллюзорного смещения предметов относительно направления движений глаз, которое всегда совпадало с величиной γ. Для любого γ ($90° < \gamma \leq 180°$) элементы зрительного поля воспринимаются перемещающимися под углом γ к направлению движений глаз, а воспринимаемые частота, амплитуда, траектория смещения предметов тождественны соответствующим параметрам окуломоторной активности. Отсюда нетрудно сделать вывод об общей причине аконстантного восприятия в условиях трансформированного направления зрительной обратной связи ГДС. Это неконтролируемое смещение изображения среды по сетчатке, вызванное поворотом глаз.

Итак, за пределами зоны стабильного восприятия идея эфферентного сигнала не получает экспериментального подтверждения. Остается предположить, что возможные рассогласования направлений движений глаз и ретинального образа учитываются зрительной системой внутри диапазона стабильного восприятия. Однако и здесь механизм «принятия в учет» (Epstein, 1973) не может быть описан средствами модели Е.Э. Хольста и Г.Х. Миттельштадта, согласно которой изменение направления зрительной обратной связи ГДС должно было бы вести к потере стабильности и монотонному увеличению скорости иллюзорного движения. Таким образом, экстраретинальная, в том числе эфферентная, информация о положении или перемещении глаз, необходимая для организации их контроля, непосредственно с явлением константности зрительного направления не связана.

Толерантность зрительного поля

Приступая к анализу стабильности воспринимаемого мира, исследователи чаще всего ограничиваются рамками зрительно-окуломоторного взаимодействия, пытаясь в соотношении движений глаз и перемещений ретинального образа найти механизм порождения данного феномена. Однако подобный подход не учитывает ни зонной природы стабильности, ни адаптивной способности фиксационного поворота глаз, ни различия форм потери стабильности, ни устойчивого соответствия параметров кажущегося движения и движений глаз за пределами диапазона константности зрительного направления.

Стабильность видимого мира действительно опирается на устойчивую зрительно-окуломоторную интеграцию, но это вовсе не означает, что она может быть сведена к простому взаимодействию сигналов прямой и обратной связи ГДС. Напротив, именно благодаря интегральности она оказывается информационно богаче, «объемнее» тривиальных соотношений между взаимодополняющими информационными каналами. Серьезные трудности вызывает и попытка рассматривать экспериментальные данные с позиции принципа «зрительной кинестезии». Требуют объяснения, в частности, факт зависимости параметров кажущегося движения от окуломоторной активности $90° < |\gamma| < 180°$, отсутствие переживания эго-движения во время плавных колебаний глаз, возможность различных форм аконстантного восприятия, сопровождающих саккады. Организация оптического строя окружающей наблюдателя среды, несомненно, является существенным фактором перцептивного процесса, но что используется в нем в качестве информационных инвариантов стабильности восприятия, как и при каких условиях, остается пока неясным. Очевидно, что механическое объединение обоих подходов не столько снимает, сколько накапливает обнаруженные противоречия.

Неизменность воспринимаемой позиции предметов во время поворота глаз или головы — биологически полезное свойство, выработанное в процессе эволюции и закрепленное в онтогенезе. Это необходимое условие ориентации индивида в окружающей среде, *норма восприятия*, которая не образуется заново в ходе каждого окуломоторного акта, а выступает в качестве его обязательной предпосылки и им же подтверждается. «Информационная инертность» (Mackay, 1962; 1972), «устойчивость оптического строя» (Гибсон, 1988; Gibson, 1966), «априорность» и относительная жесткость перцептивных схем, карт и моделей воспринимаемого мира (Найссер, 1981; Sheppard, 1985; Strelov, 1985) суть разные стороны нормативности константности зрительного направления.

Стабильность системна; она пронизывает все уровни организации перцептивного процесса и может быть описана в различных измерениях. Опыт, знания, установки, ожидания индивида играют здесь не меньшую роль, чем структура оптической стимуляции или координация зрительных, вестибулярных, проприоцептивных и других сигналов. Основу константности зрительного направления образует устойчивая интеграция относительно независимых компонентов (факторов, механизмов) восприятия, соотношение которых может широко варьировать. Именно на это и указывает факт существования диапазона

стабильного восприятия. Поэтому проблема узкого экспериментального исследования состоит не в том, как порождается зрительная стабильность в отдельном окуломоторном акте, а в том 1) почему при нарушении (затруднении) этого акта она не исчезает, и 2) если исчезает, то почему параметры кажущегося движения соответствуют характеристикам движений глаз. Ключ к ее решению дает анализ функций окуломоторной активности в зрительном восприятии.

В обычной ситуации макродвижения глаз обеспечивают наиболее благоприятные условия зрительного восприятия. Речь идет о фовеализации предмета, представляющего для наблюдателя определенный интерес, т.е. об образовании его четкого изображения в центральной области сетчатки. При искусственном рассогласовании направлений движений глаз и ретинального образа ситуация меняется. Движения глаз начинают одновременно нести две противоположные функции: фовеализацию и дефовеализацию. С одной стороны, они реализуют естественную тенденцию фиксировать предмет, помещая его изображение в область fovea centralis, **с** другой — с каждым поворотом глаза (плавным или саккадическим) ретинальный образ предмета не только не попадает в fovea, но и может удаляться от него. В последнем случае движения глаз выступают в качестве возмущающего фактора, причем чем больше $|\gamma|$, тем сильнее его влияние. Доминирование положительного (фовеализация) либо отрицательного (дефовеализация) действия окуломоторной активности и определяет модус восприятия среды как стабильной или движущейся.

Оказавшись вне контроля сложившейся зрительно-окуломоторной интеграции необычные смещения ретинального образа становятся источником кажущегося движения. Представляется, что здесь имеет место явление, принципиально сходное с восприятием движения неподвижных элементов среды при легком постукивании пальцем по глазному яблоку, когда роль внешней причины берут на себя сами же движения глаз.

Хотелось бы подчеркнуть, что «расщепление» естественной функции движений глаз и противопоставление фовеализации дефовеализации объясняет не явление стабильности воспринимаемого мира как таковое, а один из механизмов его нарушения. Вероятно, он встречается гораздо чаще, чем кажется на первый взгляд. По крайней мере, его можно обнаружить в тех случаях, в которых параметры движений глаз и воспринимаемого движения объектов совпадают, например, при стабилизации изображения объектов относительно сетчатки (Mack, Beichant, 1969), постнистагме (Bedell, Klopfenstein, Yuan, 1989), про-

слеживании движущегося предмета (Mack, Herman, 1978), компенсаторных смещений глаз и головы (Ebenholtz, Shebilske, 1975) и др.

Главный вывод, вытекающий из проведенного анализа состоит в том, что константность зрительного направления является *интегральным*, системным феноменом, который имеет зональное строение. По степени выраженности кажущегося движения объектов во время движений глаз можно выделить три относительно самостоятельных диапазона (рисунок 8.1):

1) *абслютной константности* ($-45°\leq\gamma\leq45°$), в пределах этого диапазона элементы среды, несмотря на рассогласование направлений движений глаз и ретинального образа, воспринимаются как стабильные;

2) *относительной константности* ($-135°<\gamma<-45°$; $45°<\gamma<135°$), внутри этого диапазона неподвижные элементы могут восприниматься и как стабильные, и как смещающиеся во время окуломоторной активности; это своего рода буфер — область перехода к альтернативному перцептивному качеству;

3) *аконстантного восприятия* ($-180°\leq\gamma\leq-135°$; $135°\leq\gamma\leq180°$), в пределах которого неподвижные элементы воспринимаются перемещающимися; скалярная скорость кажущегося движения соответствует скорости смещения ретинального образа ($v>3–4°/с$).

Зональное строение константности зрительного направления выражает относительную независимость перцептивного процесса

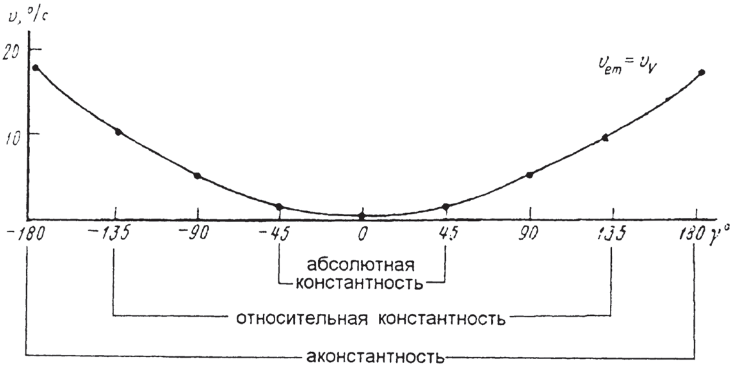


Рис. 8.1. Зоны константности зрительного направления, γ — ориентация оптической системы координат, V_d — скорость плавных движений, V_v — воспринимаемая скорость движения предметов

от движений глаз и одновременно возможность перцептивной организации самой окуломоторной активности. Неслучайно подчиненность движений глаз характеристикам процесса восприятия сохраняется и в условиях положительной зрительной обратной связи ГДС ($|\gamma|=180°$).

В более широком ключе результаты выполненного исследования могут быть представлены в терминах *толерантности* зрительного поля к рассогласованию направлений поворота глаз и соответствующего ему смещения ретинального образа (γ). В обычных условиях диапазон толерантности достаточно высок, а сам фактор постоянен. Монотонное изменение γ (данная процедура подобна условиям «стрессового эксперимента» в экологии) позволяет раскрыть пределы толерантности (минимальные и максимальные значения, при которых стабильность еще сохраняется) и рассмотреть γ в качестве «лимитирующего фактора» (Liebig, 1847) восприятия. Подобно любой биологической системе, испытывающей действие средовых детерминант, функционирование зрительной системы имеет оптимум (абсолютная константность), область стресса (относительная константность) и запредельное состояние (аконстантность восприятия). Также как и в других биологических системах, диапазон толерантности оказывается уже возможного диапазона активности (Одум, 1986). Пределы перцептивной толерантности варьируют от испытуемого к испытуемому и, вероятно, от фактора к фактору. Все это позволяет утверждать, что выявленное строение константности зрительного направления отражает общебиологические закономерности, которые, по-видимому, играют в организации восприятия не меньшую роль, чем принцип обратной связи (реафферентации).

8.2. Окуломоторные структуры и восприятие пространственно-временных отношений

Полученный экспериментальный материал затрагивает еще один аспект зрительного восприятия, который получил название «копирование», или «уподобление».

Понятие окуломоторного копирования опирается на группу фактов, демонстрирующих сходство (подобие) 1) пространственно-временных характеристик среды, 2) паттернов движений или

направлений глаз (окуломоторных структур) и 3) восприятия пространственно-временных отношений действительности. Так, чем точнее прослеживается движущийся объект, тем точнее оценивается его направление и скорость; их рассогласование становится причиной иллюзий восприятия движения (Coren, Bradly, Hoenig, Girgus, 1975; Festinger, Easton, 1974). Совокупная траектория перемещений глаз повторяет контуры и расположение существенных деталей сложного изображения (рисунок 8.2), что является условием его адекватного восприятия (Ярбус, 1965).

В зависимости от расположения стрел фигуры Мюллера-Лайера точки фиксации распределяются либо внутри фигуры, либо с ее внешней стороны, чему соответствует недооценка либо переоценка центрального отрезка (Coren, 1986) и т.п. В психологии восприятия это понятие занимает одно из ключевых мест (хотя и не всегда формулируется), направляя исследовательскую мысль на поиск двигательных механизмов «превращения» пространственно-временных отношений действительности в факт чувственного (зрительного) опыта человека (Леонтьев, 2000).

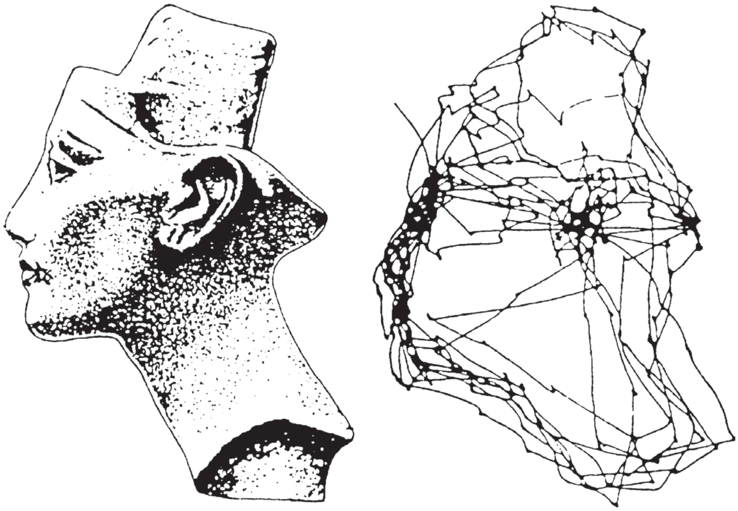


Рис. 8.2. Движения глаз при рассматривании фотографии головы Нефертити (Ярбус, 1965)

Окуломоторное копирование как механизм построения зрительного образа

Представление об участии движений глаз в зрительном восприятии зародилось в философии и науке Нового времени в связи с наблюдаемым повторением в формах окуломоторной активности пространственно-временных свойств и отношений среды (Декарт, 1953; Локк, 1960). В процессе восприятия глаза останавливаются на информативных участках предмета, прослеживают его движение, соизмеряются с его очертаниями, локализацией в поле зрения, размером. В той или иной степени величина, контур, векторная скорость движения, местоположение, удаленность предметов «копируются» направлениями либо перемещениями глаз, атраектория, масштаб, амплитуда движений глаз, соответственно, «уподобляются» параметрам физического пространства и времени. Учитывая факт управляемости окуломоторной активности и ослепляющую аналогию зрения с процессом осязания, трудно удержаться от искушения рассматривать движения глаз в качестве самостоятельного источника сведений об окружающей наблюдателя среде. С этой позиции оптические оси глаз играют роль зондов («щупал»), которые, скользя по поверхности предметов, постоянно «упираются» в ее неоднородность либо границы (контуры), упорядочивая зрительные впечатления в пространстве и времени. Существенно, что в ходе данного процесса воспринимаются не направления и перемещения глаз сами по себе, а особенности поверхностей среды, которой «касается» зонд. В зависимости от разновидности предметов, их расположения относительно наблюдателя и решаемой задачи, «оптический зонд» может укорачиваться или удлинняться, становиться более подвижным или, наоборот, инертным, но во всех случаях рисунок его движений сохраняет сходство с пространственно-временными свойствами и отношениями внешней действительности. Если по каким-либо причинам оно нарушается, то нарушается (искажается, затрудняется, становится невозможным) и зрительное восприятие предмета.

Идея непосредственного включения движений глаз в процесс зрительного восприятия активно разрабатывалась А. Беном (Bain, 1855), Г.Г. Гельмгольцем (Helmholtz, 1962), В. Вундтом (1880), И.М. Сеченовым (1952) и на рубеже XIX–XX вв. получила широкое признание. Ее дальнейшее развитие осуществлялось в русле поведенческой тематики, затрагивающей вопросы организации и функционирования глазодвигательной системы человека и животных в процес-

се пространственной ориентации (Coren, 1986; Hebb, 1949; Taylor, 1962; Skinner, 1974), а также праксеологического подхода в психологии (Запорожец, Венгер, Зинченко, Рузская, 1967; Зинченко, Вергилес, 1969; Леонтьев, 1959; Piaget, 1963). Достаточно полно и глубоко представление о копировании выражено известной гипотезой А.Н. Леонтьева, согласно которой чувственный образ строится путем «уподобления динамики процессов в рецепирующей системе свойствам внешнего воздействия» (Леонтьев, 1959; с. 32). Несмотря на предельно общую формулировку, конкретное содержание гипотезы тесно связывается с двигательными компонентами восприятия, а в случае зрительного процесса — с работой ГДС.

В зависимости от предполагаемого механизма включения движений глаз в процесс зрительного восприятия, дифференцируются два вида окуломоторного копирования.

Первый — создание проприоцептивного «слепка» выполняемых движений, который рассматривается в качестве незрительной основы восприятия пространства и времени (Сеченов, 1952; Skavenski, 1972; Shebilske, 1978; Steinbach, 1987). Источниками информации о движении (направлении) глаз полагают либо изменение длины мышечных веретен, либо изменение напряжения окуломоторных мышц, либо их различные сочетания. Поэтому даже если экстрафузальные волокна наружных мышц глаза оказываются нарушенными (например, в результате действия кураре), активность интрафузальных волокон сохраняет возможность участия движения глаз в процессе зрительного восприятия (Stevens, Emerton, Gerstein, Nefeld, Nechols, Rosenquist, 1976). Вероятность использования проприоцептивной обратной связи ГДС при построении зрительного образа повышается в случае внешне выраженных движений глаз, в том числе при стабилизации изображений предметов на сетчатке (Зинченко, Вергилес, 1969; Ditchburn, 1973) и сверхкоротких предъявлениях зрительной стимуляции (Crovitz, Davies, 1962). Правда, экспликация окуломоторной активности необходима лишь на ранних этапах перцептогенеза (Запорожец, Венгер, Зинченко, Рузская, 1967; Skinner, 1974). В ходе научения, формирования системы эталонов и укрупнения оперативных единиц восприятия окуломоторика «свертывается» (уменьшается объем, амплитуда движений глаз и их пространственно-временная «привязка» к предмету — степень подобия), а процесс построения зрительного образа замещается процессом опознания. В итоге восприятие реализуется посредством викарных перцептивных действий, использующих особый «моторный алфавит» (Зинченко, Вергилес, 1969).

Назовем рассмотренный вид копирования *афферентным,* **а** проприоцептивный слепок окуломоторной активности, складывающийся при восприятии предмета,— *«афферентной (проприоцептивной) копией».*

Другой — *эфферентный* — вид копирования непосредственно связан не с воспроизведением пространственных и временных свойств предмета, а с дублированием программы выполняемого поворота глаз, в которой эти свойства представлены имплицитно. Предполагается, что непосредственно перед поворотом глаз наряду с программой движений формируется ее *«эфферентная копия»* (Holst, 1954; Holst, Mittelstaedt, 1973), которая в ходе поворота сопоставляется с информацией (положением или перемещением проекции воспринимаемого предмета на сетчатке) о действительном перемещении глаз — зрительной обратной связью ГДС. Их соответствие порождает адекватное, несоответствие — неадекватное восприятие действительности. Последнее рассматривается в качестве основания, например, иллюзии Мюллера–Лайера, трансформации воспринимаемой траектории движения светящихся объектов в темноте, кажущегося смещения неподвижного мира при параличе экстраокулярных мышц и др. Тот или иной перцептивный эффект и его характеристики (воспринимаемая скорость, направление движения, величина предмета и т.п.) интерпретируются как результат сложения векторов целенаправленного движения глаз и смещения (изменения местоположения) ретинального образа, сопровождающего это движение (Whipple, Wallach, 1978; Wallach, O'Leary, MacMahon, 1982). С рассматриваемой точки зрения собственно движения могут и не выполняться; достаточно интенции, прогноза, готовности осуществить окуломоторный акт (Festinger, 1971). Благодаря эфферентным регуляциям открывается возможность последовательного включения каналов зрительной системы (безотносительно к действительному направлению глаз), которое переживается наблюдателем как смещения внимания с одного элемента ситуации на другой (Зинченко, Вергилес, 1969; Назаров, Гордеева, Романюта, 1972).

Рассмотренные виды окуломоторного копирования выражают возможные пути влияния ГДС на зрительный перцептивный процесс и характер связи окуломоторной активности с воспринимаемой действительностью. В случае афферентного копирования движения глаз «развертывают» пространственные характеристики среды и входят в содержание зрительного образа в виде отношений (порядка) его элементов. В случае эфферентного копирования складывается

образец будущего движения, посредством которого оценивается информация, поступающая с сетчатки; в зависимости от результатов оценки (компарации) движения глаз могут нивелироваться либо включаться в содержание зрительного образа как переживаемое состояние среды (движение, изменение местоположения, величины ее элементов, расстояния между ними и т.п.).

Представляя разные звенья организации фиксационного поворота глаз выделенные виды копирования тесно связаны и дополняют друг друга. В принципе перцептивный процесс может опираться как на зрительную, так и на проприоцептивную обратную связь, а включение в этот процесс может быть как прямым, так и опосредствованным процедурой сравнения с эфферентной копией.

Сосуществование разных видов копирования получило отражение в ряде концепций восприятия (Matin, 1976; Shebilslke, 1978). Наличие не только афферентного (что обычно акцентируется), но и эфферентного копирования предполагает и «гипотеза уподобления».

Различаясь в деталях, оба представления о копировании опираются на одну и ту же формулу процесса построения зрительного образа: *предмет* → *перцептивное действие,* включающее окуломоторный акт в качестве материальной основы, → *зрительный образ.* Предмет исходно афферентирует действие наблюдателя, которое, в свою очередь, «вылепливает» образ, адекватный свойствам предмета. Средний элемент формулы рассматривается как наиболее гибкий, пластичный и универсальный. В специальных терминах данная формула означает, что функционирование ГДС подчиняется пространственно-временным характеристикам предмета и посредством проприоцептивной и/или зрительной обратной связей включается в содержание его зрительного образа.

Несмотря на продуктивность идеи окуломоторного копирования (с ней связаны, в частности, гипотеза сменности «моторного алфавита» восприятия, представление о «функциональном фовеа», проблематика эфферентных регуляций сенсорных следов в памяти, эфферентные теории константности зрительного направления, величины, удаленности, восприятия движения и др.), а также большое число экспериментальных работ, ее ключевые вопросы до сих пор остаются открытыми. Неясно главное. Какие пространственно-временные характеристики предмета воспроизводятся в формах окуломоторной активности? Посредством каких движений? Какие свойства зрительного восприятия «чувствительны» к перемещениям или позиции

глаз? Наконец, какова природа перцептивно-окуломоторного соответствия?

Не претендуя на полноту, попробуем раскрыть эти вопросы на материале исследований, описанных выше.

Константность окуломоторного направления

Варьируя значения γ, мы попытались ослабить природную связь зрительных и окуломоторных компонентов восприятия, преобразовать «моторный алфавит» движений глаз и изучить характер их отношений с 1) предметом восприятия и 2) зрительным образом предмета. Очевидно, что если окуломоторное копирование действительно имеет место и является механизмом построения зрительного образа, то изменения «алфавита движений» не могут не отразиться на восприятии пространственно-временных отношений действительности. Естественно ожидать искажений восприятия величины, формы, нарушений константности зрительного направления, неразличимость движений среды и собственных движений наблюдателя, т.е. тех эффектов, которые неоднократно описывались в близких экспериментальных ситуациях (Логвиненко, 1974; Stratton, 1897; Kohler, 1964).

Согласно экспериментальным данным, картина окуломоторной активности, особенности зрительного восприятия и связь движений глаз с предметной действительностью в условиях вращения γ носят более сложный и в каком-то смысле неожиданный характер.

Возрастание $|\gamma|$ действительно сопровождается последовательным преобразованием фиксационных поворотов глаз и появлением устойчивых окуломоторных структур, которые в нормальных условиях отсутствуют. Складывается новая «окуломоторная ткань», достигающая своего предельного развития (прегнантности) при $\gamma=180°$.

Зарегистрированные структуры столь необычны и самостоятельны, что возникает впечатление их полной независимости как от предмета восприятия, так и от наблюдателя (субъективно они представляются испытуемым как навязанные извне). Но уже факт последовательных преобразований окуломоторной активности с увеличением γ указывает на то, что сложившийся механизм управления движениями, включая эфферентную копию и проприоцепцию экстраокулярных мышц, сохраняют свое действие. Так или иначе движения глаз продолжают афферентироваться предметом восприятия

и зависимы от наблюдателя. Это оказывается возможным благодаря двум обстоятельствам: адаптации ГДС к новым условиям функционирования и многозначности способов организации преобразованных движений.

Существование оперативной формы адаптации подтверждает высокую пластичность окуломоторной активности человека, ее способность менять свои характеристики в зависимости от объективных условий восприятия и в этом смысле копировать действительность. Правда, вклад, который вносят в этот процесс разные виды движений, далеко не равноценен.

Анализ характеристик саккад и дрейфов, входящих в фиксационный поворот, показывает (рисунок 8.3), что с увеличением $|\gamma|$:

1) среднее направление саккад тяготеет к зрительному (видимому) направлению предмета; их рассогласование относительно постоянно — 10–20°;

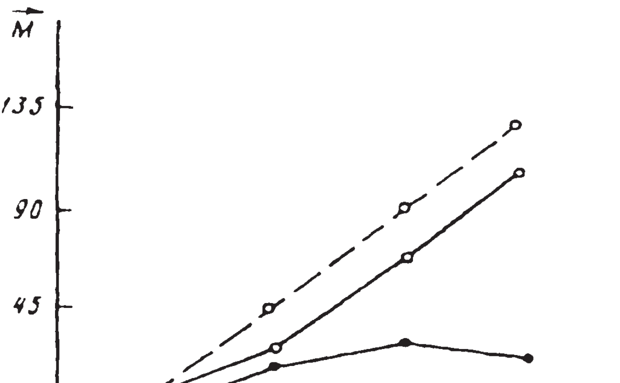


Рис. 8.3. Зависимость среднего направления плавных и саккадических движений глаз от ориентации оптической системы координат (γ). Пунктирная линия с темными кружочками — действительное (окулоцентрическое) направление предмета; пунктирная линия со светлыми кружочками — видимое (зрительное) направление предмета; сплошная линия с темными кружочками — направления новых движений глаз; сплошная линия со светлыми кружочками — направление саккад

2) среднее направление дрейфов (плавных движений) тяготеет к действительному (эгоцентрическому) направлению предмета; их рассогласование — 20–30°.

Обе тенденции реализуются на фоне существенного расширения диапазона возможных направлений саккад и дрейфов, а также снижения средней амплитуды саккад, возрастания амплитуды и продолжительности дрейфов.

Данный результат обнаруживает важное свойство ГДС человека, которое мы называем *константность окуломоторного направления*. Оно характерзует способность наблюдателя выдерживать реальные (эгоцентрические) ориентиры движения независимо от условий выполнения окуломоторного акта, в частности, независимо от способа афферентации движений.

Подобно константности восприятия формы и величины (Смирнов, 1935; Волков, 1950; Миракян, 1992) предметов окуломоторная константность может быть выражена количественно:

$$K_{em} = (R - M / R - V) \times 100\%,$$

где K_{em} — коэффициент константности окуломоторного направления, V — видимое (проекционное) направление предмета, R — эгоцентрическое направление предмета, M — направление перемещения глаз.

Здесь также возможны феномены аконстантности (соответствие поворота глаз проекционным отношениям на сетчатке), обычно это первая саккада фиксационного поворота сразу же после изменения $|\gamma|$; сверхконстантности (смещение глаз в сторону эгоцентрического направления предмета на больший угол, чем необходимо; преимущественно это достигается за счет ускоренного дрейфа); сверхаконстантности (смещение глаз в сторону зрительного направления предмета на угол, больший, чем требуют проекционные отношения на сетчатке; в основном это достигается за счет саккад). Коэффициент константности окуломоторного направления зависит от вида движений глаз, их места в структуре фиксационного поворота, продолжительности окуломоторной адаптации, способа восприятия и индивидуальных особенностей наблюдателя, т.е. является величиной переменной даже в рамках одного и того же окуломоторного акта.

Особый интерес вызывает тот факт, что с ростом $|\gamma|$ коэффициенты константности окуломоторного направления плавных и саккадических движений изменяются диаметрально противоположным образом (рисунок 8.4): первые монотонно возрастают, стремясь

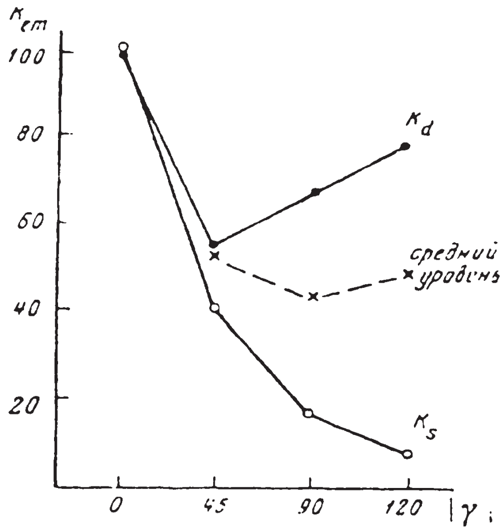


Рис. 8.4. Изменение коэффициента константности ($К_{ет}$) окуломоторного направления в зависимости от ориентации оптической системы координат (у) и вида движений глаз — саккад (s) и дрейфов (d). Сплошная линия с темными кружочками — плавных движений (дрейф); сплошная линия со светлыми кружочками — саккады; пунктирная линия с крестиками — усредненный коэффициент константности

к 100%, вторые — монотонно уменьшаются, стремясь к 0%; усредненные значения $К_{ет}$ сохраняются примерно на одном и том же уровне (42–47%).

Данная закономерность выражает кардинальные различия способов организации саккад и дрейфов. Если резкие смещения глаз больше соответствуют реориентированной системе оптических координат, то плавные движения склоняются к эгоцентрическому (т.е. действительному) направлению предмета вопреки проекционным отношениям на сетчатке. Последнее нельзя объяснить только компенсацией или коррекцией программы (а значит, и эфферентной копии) движений, которые характеризуют адаптивный процесс вообще. Недостаточна и непрерывность зрительного контроля (согласно расчетам, при $\gamma \neq 0$ дрейф в большей степени содействует выполнению двигательной задачи). Необходим дополнительный механизм, чувствительный к эгоцентрическому направлению предмета и обес-

печивающий его поиск в условиях преобразованной зрительной обратной связи. Работа этого механизма и может быть интерпретирована в терминах уподобления окуломоторной активности эгоцентрическому направлению предмета.

Нетрудно заметить, что возможности моторного воспроизведения пространственных свойств предмета узко ограничены. Во-первых, в основном они касаются направления дрейфа. Менее выражено уподобление направления саккад, тождественное, по существу, эффекту адаптации. Ни амплитуда, ни траектория, ни скорость или ускорение не обнаруживают прямой зависимости от параметров предмета. Напротив, с увеличением $|\gamma|$ их пространственно-временная «привязка» к действительности все более и более ослабевает (при восприятии одного и того же предмета уменьшается амплитуда саккад, увеличивается скорость и амплитуда дрейфа, усложняется состав и, наконец, появляются специфические окуломоторные структуры). Во-вторых, движения глаз воспроизводят только эгоцентрическое направление предмета. Его форма, величина, расстояние между предметами непосредственно не копируются. В-третьих, относительное направление перемещения глаз подчиняется ряду внутренних условий восприятия, что делает процесс уподобления очень вариативным. К их числу относится и способ восприятия, или форма, в которой протекает зрительный процесс.

Способы зрительного восприятия

Полученные результаты позволяют говорить о двух полярных способах восприятия: «сканирующем» и «охватывающем». Первый предполагает активное отношение субъекта восприятия к объекту, интенцию сканирования окружающего, второй — пассивное (созерцательное) отношение к объекту, интенцию сохранения направленности глаз. Для «сканирующего» способа характерны выделение предметов или их свойств, имеющих небольшие угловые размеры (до 10°), концентрация зрительного внимания и связанные с этим усилия наблюдателя; для «охватывающего» способа — симультанное восприятие предметов, имещих относительно большие угловые размеры, распределение зрительного внимания и релаксацию наблюдателя (Барабанщиков, 1990).

Использование того или иного способа восприятия диктует появление различных окуломоторных структур. При $135° < |\gamma| < 180°$ «сканирующий» способ восприятия сопровождается нистагмом, «охваты-

вающий» — крупноамплитудными вращениями глаз. При $0° < |\gamma| < 135°$ устойчивая фиксация становится возможной лишь в том случае, если испытуемый активно стремится к достижению цели. Если же предмет восприятия «теряется» наблюдателем или контролируется боковым зрением, ни целенаправленный окуломоторный акт, ни адаптивные преобразования ГДС не выполняются. Меняя усилие (концентрируя или ослабляя внимание, сужая или расширяя локус контроля), наблюдатель способен изменить относительное направление движений глаз, их амплитуду, а также окуломоторную структуру в целом. Приложение усилия необходимо вплоть до финальной стадии решения двигательной (окуломоторной) задачи: само по себе сближение эгоцентрического и окуломоторного направлений до 0.5–0.7° еще не гарантирует устойчивой фиксации предмета. Психологически выполнение задания в рассматриваемых условиях строится как волевое действие, достигающее заданного результата (перцептивного или окуломоторного) путем преодоления навязываемых движений. Нетрудно допустить, что на уровне организации окуломоторной активности разным способам восприятия соответствуют разные программы движений глаз и разные эфферентные копии.

Следовательно, параметры окуломоторной активности, в частности, направление ускоренного дрейфа, не только копируют действительность, но и выражают («копируют», если здесь применим этот термин) внутренние формы активности субъекта, которые задают «форватер» организации движений глаз. В пользу этого говорит и факт подчинения саккад зрительно воспринимаемому, а не действительному (эгоцентрическому) направлению предмета.

Итак, несмотря на существенные преобразования системы оптических координат и соответствующее искажение зрительного образа, предмет способен афферентировать окуломоторную активность человека, подстраивать ее под свои характеристики. Основной детерминантой выступает эгоцентрическое направление предмета, а чувствительным параметром движений — их направленность. Учитывая ограничения, отмеченные выше, можно утверждать, что *направление движений глаз уподобляется и эгоцентрическому, и зрительному направлению предмета*.

Но включается ли окуломоторное копирование в процесс построения зрительного образа? Если да, то как? Для того чтобы ответить на эти вопросы, рассмотрим особенности перцептивных трансформаций, которые сопровождают изменение $|\gamma|$.

Перцептивные трансформации

В сконструированных условиях имеют место как специфические, так и неспецифические перцептивные трансформации. Первые характеризуются потерей константности зрительного направления и управляемости взором, вторые — изменением видимого направления и/или ориентации предметов в поле зрения (они соответствуют значению γ) и уплощением зрительного поля (нарушается константность формы и величины). Специфические трансформации непосредственно связаны с особенностями функционирования окуломоторной системы; неспецифические — с преобразованием оптического строя (вращением ретинального образа относительно предмета) и ограничением поля зрения (Логвиненко, 1981). В дальнейшем нас будут интересовать только специфические перцептивные трансформации, закономерно меняющиеся с изменением $|\gamma|$.

Как уже отмечалось, при нарушении константности зрительного направления ($|\gamma| > 45°$) движения глаз как бы проецируются в зрительное поле, передавая ему свои динамические характеристики — амплитуду, скорость, частоту. Хотя направление видимого движения и направление перемещения глаз различаются величиной γ, феномен перцептивно-окуломоторного соответствия налицо.

В отличие от восприятия оптического строя в целом восприятие его внутренней структуры с изменением γ не нарушается. Без искажений отражается форма и величина предметов; сохранены оптико-геометрические иллюзии. Испытумые легко узнают простые или знакомые изображения. Трудности возникают лишь тогда, когда решение зрительных задач требует развернутой стратегии и выделения небольших по величине элементов, например, при рассматривании абстрактных картин, поиске заданной цифры или буквы в зашумленном поле, пересчете персонажей сюжетного изображения и др., начиная с $|\gamma|>90°$. По сравнению с обычными условиями время решения подобных задач существенно возрастает. При максимальном значении $|\gamma|$ чтение простейшего текста оказывается для испытуемого сверхзадачей; он выделяет отдельные слова либо словосочетания, способен «схватить» изображение текста, но прочитать его целиком не в состоянии. Согласно отчетам, выделяемые элементы ситуации постоянно «убегают» от наблюдателя, «сплывают» или оказываются вдруг в неожиданном месте; требуются немалые усилия, чтобы воспрепятствовать этому движению и «удержать» значимый предмет. Взор, или направленность наблюдателя, облегчающая вос-

приятие одних элементов относительно других, подчиняется теперь не только воле или внешним параметрам предмета, но и необычной динамике окуломоторной активности; он становится плохо управляемым, «чужим».

Степень управляемости взором зависит от величины $|\gamma|$. Если при $|\gamma|=45°$ перевод взора с одной точки на другую переживается как «мгновенный» и неотличим от условий $\gamma=0$ (несмотря на более сложное строение и возросшую продолжительность фиксационного поворота глаз), то при $|\gamma|=90°$ отмечается «вязкость» взора, «замедленность» восприятия и как бы постепенное прояснение выделяемого предмета. Для того чтобы удержать его в желаемом направлении, с ростом γ необходимо прилагать все большие и большие усилия. Когда же это становится неэффективным ($|\gamma|=120–135°$), испытуемые отказываются от привычного им «сканирующего» способа восприятия, пытаясь решать перцептивные задачи, не меняя окуломоторного направления. «Охватывающий» способ восприятия позволяет проводить зрительный анализ быстрее и проще. Тем не менее вплоть до $|\gamma|=180°$ при решении различных перцептивных задач используются оба способа восприятия. Выделенные зоны управления взором в целом совпадают с зонами константности/аконстантности зрительного направления.

Таким образом, феномен перцептивно-окуломоторного соответствия имеет место и на операциональном уровне организации процесса восприятия. Но означает ли это, что информация о направлении перемещения глаз используется в построении зрительного образа?

Природа перцептивно-окуломоторного соответствия

Первое, что замечается при сопоставлении перцептивных и окуломоторных трансформаций в условиях варьирования γ, это бедность зрительных феноменов на фоне разнообразия параметров и форм глазодвигательной активности. Новая «окуломоторная ткань» в значительной степени индифферентна переживаемому образу.

С направлением движений глаз связаны лишь «векторные» характеристики чувственного восприятия — константность зрительного направления и направленность взора наблюдателя. Как мы убедились, при $\gamma>45°$ восприятие кажущегося движения объектов воспроизводит существенные параметры движений глаз, а взор подчиняется специфике окуломоторных структур. Именно эти феномены

указывают на включение глазодвигательной активности в процесс построения зрительного образа. Но как конкретно это происходит? Что лежит в основе соответствий описанного типа? Проприоцептивная информация, поступающая от экстаокулярных мышц (афферентная копия)? Рассогласование программы движений (эфферентной копии) и результатов ее выполнения? Гибридный механизм, учитывающий и то, и другое? По-видимому, ни то, ни другое, ни третье.

Высказанные гипотезы строятся на допущении *непосредственного* участия ГДС в построении зрительного образа и уравнивании статуса зрительных и незрительных источников информации. Предполагается, что последние конституируют пространственно-временной каркас перцептивного образа, который «обшивается» зрительным материалом. Между тем полученные данные свидетельствуют об обратном. Во-первых, окуломоторные и зрительно-перцептивные процессы подчиняются разным принципам организации и относительно независимы. Во-вторых, окуломоторная активность связана с перцептивным процессом опосредствованно: а) через вращение оптической системы координат (зрительного поля в целом) и б) путем обеспечения собственно перцептивных операций (выделения значимых элементов среды, их сравнения, объединения, упорядочивания и т.п.).

Как мы показали выше, при изменении γ наряду с биологически заданной функцией (фовеализация предмета) движения глаз играют роль внешнего «лимитирующего фактора» (дефовеализация предмета), влияние которого возрастает с увеличением $|\gamma|$. Пока фовеализация преобладает над дефовеализацией ($|\gamma|<60°$) константность зрительного направления сохраняется; в противном случае смещение ретинального образа становится источником кажущегося движения.

Противостоянием фовеализации дефовеализации объясняются и трудности произвольного управления взором ($\gamma>90°$). Согласно полученным данным, визуальная направленность на предмет определяется тремя характеристиками: 1) положением локуса зрительного контроля среды, т.е. направленностью внимания, 2) направленностью оптических осей глаз и 3) ориентацией центра зрительного поля наблюдателя (Барабанщиков, 2002). При устойчивой фиксации предмета все три «вектора» как бы наложены друг на друга. Появление или выбор нового предмета восприятия инициирует возникновение нового локуса зрительного контроля (функционального поля зрения), который, в свою очередь, стимулирует

фиксационный поворот глаз. В ходе этого поворота снимается рассогласование между визуальной направленностью наблюдателя и позицией его глаз, а проекция нового предмета на сетчатке стремится к fovea. Наконец, изменение оптико-физиологических условий восприятия обусловливает смещение (в сторону нового предмета) центра зрительного поля. Процесс «перевода взора» занимает несколько сот миллисекунд и переживается субъектом как мгновенный, автоматизированный акт.

Вращение оптической системы координат, использованное в наших экспериментах, приводит к дискоординации направлений внимания, глаз и зрительного поля наблюдателя, которая с увеличением $|\gamma|$ становится все больше и больше. Как обычно, значимый элемент ситуации перцептивно выделяется наблюдателем, но в ходе движений глаз его проекция на сетчатке отклоняется от fovea, а центр зрительного поля смещается в направлении $(a + \gamma)$, где (a) — зрительное направление предмета, а (γ) — угол вращения оптической системы координат. Следствием растущей дискоординации становятся, с одной стороны, возрастание времени фиксационного поворота глаз и продолжительности перевода взора в целом (субъективно это переживается как «вязкость» взора), с другой — увеличение диспаратности ориентации направленности внимания и зрительного поля (субъективно это переживается как «систематическая ошибка» взора), с третьей — все большее подчинение внимания преобразованным формам окуломоторной активности (субъективно это переживается как «ограничение степеней свободы» взора). При $|\gamma|>135°$ значимые элементы выделяются, но не фовеализуются, а оптимальные оптико-физиологические условия восприятия так и не складываются. В этом случае решение зрительных задач опирается на возможность пролонгированной функциональной раздвоенности взора и относительную свободу перемещения локуса контроля в пределах зрительного поля. Сходная ситуация возникает, например, при восприятии объектов, стабилизированных относительно сетчатки, когда движения глаз теряют свою целесообразность (Ditchburn, 1973). Но если там преобразованная окуломоторика скорее индифферентна к перцептивному процессу, то при $\gamma>60°$ она оказывает на него отрицательное влияние. Очевидно, что в сконструированной ситуации необходимость в дополнительной окуломоторной информации, затрудняющей перевод взора, отсутствует.

Таким образом, в основе перцептивно-окуломоторного соответствия (подобия), зарегистрированного в условиях вращения γ, лежит

механизм *автохтонного воздействия* — неконтролируемое смещение проекции предмета по сетчатке, вызванное функционально неадекватными движениями глаз. Ни афферентное, ни эфферентное копирование эгоцентрического направления не затрагивают существенных моментов построения зрительного образа.

«Функциональный зазор»

Сделанный вывод вполне закономерен, если полагать, что построение зрительного образа и организация окуломоторной активности — разные проявления субъекта восприятия, реализующие разные формы его взаимодействия со средой.

Процесс порождения зрительного образа воплощает диалектику информационного содержания восприятия и способов его организации. Он включает чувственный анализ и синтез окружающей среды, развертывание и модификацию перцептивной схемы, выдвижение соответствующих гипотез и их верификацию; здесь всегда присутствует не только репродуктивный («изобразительный»), но и творческий момент, причем оперативность соседствует с информационной избыточностью. Данный процесс направляется потребностью наблюдателя в той или иной визуальной информации, осуществляется на основе перцептивной установки и контролируется базовыми структурами индивидуального опыта: системой норм и конструктов адекватного отражения действительности. Соответственно и сам зрительный образ оказывается сложноорганизованным целым, способным к преобразованиям и развитию (Барабанщиков, 1990; 2000; 2002; 2006). С этой позиции и константность зрительного направления, и возможность произвольного управления взором пронизывают все уровни организации перцептивного процесса. Любое включение в процесс порождения и/или функционирования зрительного образа вынуждено преломляться через систему механизмов, компонентов, детерминант, соотношение и действие которых широко варьирует.

Принципам системной организации подчиняется и окуломоторная активность наблюдателя, обслуживающая зрительный процесс. Как уже отмечалось, в архитектонику фиксационного поворота глаз входят синтез исходных предпосылок движения (потребность в визуальном выделении элемента или отношения среды, опыт выполения окуломоторных актов, афферентация, информирующая об актуальном состоянии организма и среды), цель и программа поворота глаз, акцептор результатов действия (допускающий включение как «эф-

ферентной», так и «афферентной» копии), собственно перемещения глаз и механизм обратной связи (зрительной, проприоцептивной, вестибулярной и др.). При этом ни саккады, ни дрейф не имеют жестко специализированных функций, а их биомеханические возможности реализуются в зависимости от конкретного сочетания условий выполнения фиксационного поворота глаз. И здесь, следовательно, возникает устойчивая констелляция отношений и детерминант, которая необходимо опосредствует любое включение в окуломоторику и служит естественным основанием константности окуломоторного направления.

Вертикальное (иерархическое) строение зрительного образа позволяет наблюдателю одновременно реализовывать разные типы отношений со средой. Если ориентация в среде и контроль поведения (деятельности, общения) осуществляются верхним, доминантным уровнем организации зрительного образа, контроль позиции и перемещения глаз — генетически более ранними образованиями субдоминантного уровня, то регуляция функционального состояния наблюдателя и его органов чувств обеспечиваются продуктами исходных фаз становления образа. Каждый уровень восприятия настроен на определенную систему отношений и функционально адекватен наличной ситуации; осознается только основной результат доминантного уровня: чувственная данность требуемого элемента, свойства либо отношения среды. Следовательно, с изменением геометрии перемещений глаз меняется не только их двигательная организация (программа, критерии оценки результата и др.), но и содержание субдоминантных образований зрительного восприятия. Можно ожидать, что со временем, если рассогласование оптической и окуломоторной систем координат сохранится, возникшие ретрансформации образа перейдут и на доминантный уровень. В этом смысле движения глаз, уподобляющиеся эгоцентрическому направлению предмета, действительно конституируют зрительный образ, инициируя его изменения как бы изнутри, но с самого начала они носят приспособительный, а не гностический характер.

Поскольку каждый из рассмотренных процессов обладает относительной самостоятельностью, феномены зрительного восприятия в широком диапазоне значений γ оказываются независимыми от параметров движений глаз, а окуломоторная активность — от характеристик зрительного образа. Соответственно, стабильность зрительного восприятия допускает дисфункцию глазодвигательного аппарата, а константность окуломоторного направления сохраняется

вопреки потере стабильности. Веер рассогласований направлений глаз и зрительного направления предмета, относительно независимый от содержания перцептивного процесса, с одной стороны, и построения движений глаз — с другой, обнажает *«функциональный зазор»* между восприятием (становлением и развитием зрительного образа) и действием (организацией окуломоторной активности). Речь идет о внутреннем моменте взаимосвязи сложных образований, который выражает автономность их функционирования и необходим для обеспечения гибкой ориентировки и поведения индивида в среде. «Функциональный зазор» — мера относительной независимости зрительного образа от движений глаз и одновременно пространство их оперативных преобразований.

На уровне феноменов окуломоторной активности непосредственным проявлением «функционального зазора» выступает пространство возможных направлений (фиксационных позиций) глаз, обеспечивающих решение той или иной перцептивной задачи — оперативная зона фиксаций. Благодаря ее динамике (преимущественно расширению) при рассматривании сюжетных изображений ($45° < |\gamma| < 135°$) развернутые спиралевидные траектории фиксационных поворотов почти не возникают, а время решения перцептивной задачи значительно меньше времени выполнения поворота глаз на точечную цель. Строение оперативной зоны фиксации будет рассмотрено в следующей главе.

Существование «функционального зазора» предполагает возможность взаимной настройки систем, реализующих взаимодействие наблюдателя со средой. Мы показали, что при изменении γ ГДС способна функционировать в автономном режиме, сохраняя связь с эгоцентрическим направлением предмета. Уподобляясь этому направлению, движения глаз создают благоприятные условия осуществления зрительного процесса, что не может не вызвать обратный позитивный эффект. Автономность зрительного восприятия, в свою очередь, находит выражение в способах перцептивной организации глазодвигательной активности, которые так или иначе влияют на векторную скорость плавных движений, частоту и амплитуду нистагма, тип окуломоторной структуры, двигательный состав фиксационных поворотов глаз. Круговорот перцептивно-окуломоторных взаимодействий в итоге ведет к тонкой координации параметров зрительного восприятия (константности зрительного направления, автоматизма управления взором) и окуломоторной активности (оптимальное направление перемещения глаз), характерной для обычных условий жизнедеятельности. То, что открывается исследователю

как соответствие (подобие) параметров движений глаз пространственно-временным характеристикам среды, есть проявление *согласованности* зрительного и окуломоторного направлений предмета восприятия.

Наличие «функционального зазора» допускает относительность соответствия контура предмета и траектории движений глаз, снижение степени их подобия в ходе перцептивного обучения и развития, возможность использования в процессе восприятия разных «моторных алфавитов», «систематическую неточность» установки глаз относительно воспринимаемого предмета, широкое варьирование параметров выполняемых движений глаз и разнообразие индивидуальных стратегий обследования одного и того же предмета, зрительное восприятие без макродвижений глаз как в норме, так и в условиях различной патологии окуломоторного аппарата (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Белопольский, 1989; Гуревич, 1971; Лyук, Барабанщиков, Белопольский, 1977; Ярбус, 1965; Ebenholtz, Shebilske, 1975; Mackworth, Morandi, 1967; Steinman, 1976; Weber, Daroff, 1971). До тех пор, пока рассогласование зрительной и окуломоторной направленности совершается внутри «функционального зазора», оно не оказывает серьезного влияния ни на ход восприятия, ни на характер движений глаз. Лишь выйдя за его рамки, тот или иной компонент (параметр) зрительного процесса приобретает статус внешнего, возмущающего данный процесс «лимитирующего» фактора. Как мы убедились, рассмотренные феномены зрительно-окуломоторного соответствия (подобия) вызываются не необычными движениями глаз как таковыми и не необычным способом их регулирования, а необычной ролью, которую они играют в процессе зрительного восприятия. Автохтонные воздействия могут служить основанием иллюзий восприятия скорости и траектории движения (Festinger, Easton, 1974; Mack, Fendrich, Sirigatti, 1973), сенсорно-тонических эффектов (Werner, Wapner, 1952), особенностей зрительного восприятия при компенсаторных движениях глаз и головы (Ebenholtz, Shebilske, 1975), нарушений константности зрительного направления во время постнистагма (Bedell, Klopfenstein, Yuan, 1989) и др.

По-видимому, в разное время и в разных условиях величина «зазора» оказывается различной. При восприятии точечных элементов среды в безориентирном пространстве она уменьшается: влияние окуломоторики на содержание зрительного образа выражено максимально (Лyук, Барабанщиков, Белопольский, 1977); при восприятии хорошо структурированного неограниченного зрительного поля —

увеличивается: включенность движений глаз в процесс построения зрительного образа почти не проявляется (Гибсон, 1988). Искусственно усиливая либо, наоборот, ослабляя то или иное условие, исследователь преобразует внутрисистемные связи восприятия, меняет величину «зазора» и в случае выхода за его границы инициирует феномены перцептивно-окуломоторного соответствия. В силу разнообразия условий выполнения зрительного процесса, конкретные механизмы, лежащие в основе «глазодвигательных» эффектов восприятия, могут широко варьировать.

Возвращаясь к теоретическим основаниям идеи окуломоторного копирования, заметим, что с точки зрения полученных результатов формула: *предмет* → *перцептивное действие* (окуломоторный акт) → *зрительный образ* действительно имеет место, но только по отношению к эгоцентрическому направлению предмета и выражает не механизм построения образа, а тенденцию его модификации под влиянием новых обстоятельств. Копирование (уподобление) выступает здесь как акт приспособления индивида к среде, смысл которого состоит в согласовании двигательных и собственно зрительных компонентов восприятия. Их *сонастроенность,* **а** не воспроизведение «геометрии предмета» в «геометрии движений (позиций) глаз» само по себе является главным условием оптимального отражения действительности. Отношения движений глаз и зрительного образа опосредствованы «функциональным зазором», свойства которого определяют возможность и характер включения окуломоторики в содержание чувственного восприятия наблюдателя.

Проведенные исследования показывают, что наряду с данным всегда совершается другой процесс, описываемый альтернативной формулой: *зрительный образ* → *перцептивное действие* (окуломоторной акт) → *предмет*. Это иная сторона взаимодействия субъекта восприятия с объектом. В контексте целого движения глаз оказываются и активными, и страдательными, и причиной, и следствием зрительно переживаемых событий. Окуломоторные образования копируют (с указанными ограничениями) пространственно-временные свойства предметов, но не в меньшей степени они «копируют» актуальные состояния наблюдателя, способ его восприятия. Результатом встречных процессов оказывается постоянное нарушение перцептивно-окуломоторного соответствия, *уход от подобия* параметров движений глаз пространственно-временным характеристикам среды.

8.3. Нестационарность глазодвигательной системы и зрительное восприятие

Согласно полученным данным, изменение направления зрительной обратной связи не только трансформирует фиксационный поворот глаз, но и оказывает влияние на перцептивный процесс в целом. Воспринимаемое пространство теряет привычную стабильность и начинает регулярно смещаться вместе с поворотом глаз ($|\gamma|>45°$). Постепенно теряется произвольное управление взором. Трудности и время решения сложных зрительных задач ощутимо возрастают ($|\gamma|>135°$).

Феномен стабильности восприятия, или константности зрительного направления, имеет сложное строение, которое не учитывается известными теориями. По степени выраженности кажущегося движения объектов во время движений глаз можно выделить три относительно самостоятельные диапазона: (1) абсолютной константности ($-45°<\gamma<45°$), в пределах этого диапазона предметы, несмотря на рассогласование зрительного и окуломоторного направлений, воспринимаются как неподвижные; (2) относительной константности ($-135°<\gamma<-45°$; $45°<\gamma<135°$), внутри этого диапазона предметы могут восприниматься и как стабильные, и как смещающиеся во время окуломоторной активности; (3) аконстантного восприятия ($-180°\leq\gamma\leq-135°$; $135°\leq\gamma\leq180°$), в пределах этого диапазона неподвижные объекты воспринимаются перемещающимися; скалярная скорость кажущегося движения соответствует скорости смещения ретинального образа.

Константность зрительного направления выступает в качестве оборотной стороны адаптивности окуломоторного акта. Ее нарушения сигнализируют о серьезных нарушениях зрительной системы и/или ее экстрасистемных связей. Возможны две формы аконстантного восприятия: а) восприятие движения и б) восприятие местоположения объективно неподвижных элементов среды, причем выполнение саккады допускает наличие обеих форм.

Предполагая координацию зрительных и окуломоторных компонентов, стабильность видимого мира не сводится к простому элиминированию сигналов прямой и обратной связи ГДС, зрительной кинестезии или организации когнитивных структур. Она выражает необходимое условие ориентации индивида в окружающей среде, норму восприятия, которая выступает в качестве предпосылки любого окуломоторного акта и им же подтверждается. Это системное эволюционно заданное качество, которое пронизывает все уровни

организации перцептивного процесса и может быть представлено в различных измерениях. «Информационная инертность» (Д. Маккей), «устойчивость оптического строя» (Гибсон), «априорность» и относительная жесткость перцептивных схем, карт и моделей воспринимаемого мира (Найссер, Шепард, Стрелоу), ригидность зрительно-окуломоторных отношений суть разные стороны константности зрительного направления. Его основу образует единство различных по своей природе компонентов восприятия (опыт, установки, ожидания индивида, структура оптической стимуляции, координация зрительных, проприоцептивных, вестибулярных сигналов и др.), соотношение которых варьирует в широких пределах.

Данные, полученные в проведенном исследовании, указывают на относительную независимость движений глаз от условий их выполнения — константность окуломоторного направления. Количественно ее можно выразить посредством специального коэффициента, значения которого для разных видов движений неодинаковы. С ростом $|\gamma|$ коэффициенты константности направлений дрейфов монотонно возрастают, а направлений саккад — монотонно уменьшаются.

Изменение γ ведет к «расщеплению» не только самой окуломоторной активности, но и ее функций в процессе зрительного восприятия. Наряду с фовеализацией движения глаз начинают выполнять несвойственную им функцию дефовеализации предмета восприятия, т.е. одновременно выступают и как полезный (внутренний, контролируемый), и как возмущающий перцептивный процесс (внешний, неконтролируемый) фактор. Доминирование того или другого и определяет модус восприятия среды как стабильной либо движущейся. В последнем случае смещение ретинального образа оказывается за рамками зрительно-окуломоторной интеграции и переживается как эквивалентное смещение окружающего мира. Константность зрительного направления выражает толерантность зрительного восприятия к возмущающему действию собственных компонентов зрительно-окуломоторной интеграции.

Механизм автохтонного воздействия лежит в основе нарушений произвольного управления взором наблюдателя. Вращение оптической системы координат приводит к дискоординации его образующих: направлений локуса контроля (функционального поля зрения), глаз и зрительного поля наблюдателя. Следствием растущей дискоординации становятся: (1) возрастание времени фиксационного поворота глаз и продолжительности перевода взора в целом (субъективно переживается как «вязкость» взора), (2) увеличение диспаратности

направленности зрительного внимания и ориентации зрительного поля (субъективно переживается как «систематическая ошибка» взора) и (3) все большее подчинение направленности зрительного внимания преобразованным структурам окуломоторной активности (субъективно переживается как «навязанность смещений» взора извне). Ни проприоцептивная, ни эфферентная информация, ни когнитивная организация воспринимаемого с нарушениями произвольного управления взором непосредственно не связаны.

Вопреки известным гипотезам возможности окуломоторного воспроизведения (копирования) пространственных свойств предметов узко ограничены. В основном они касаются направлений дрейфа, в меньшей степени — саккад. При этом движения глаз воспроизводят только эгоцентрическое направление предмета. Его форма, величина, расстояние между предметами непосредственно не копируются. Более того, ни афферентное, ни эфферентное копирование не затрагивает существенных (внутренних) моментов построения зрительного образа и носят приспособительный характер. За феноменом окуломоторного копирования стоит сонастроенность сенсорных и моторных компнентов зрительного восприятия, а не воспроизведение «геометрии предмета» в «геометрии движений глаз» как таковое.

Отношения зрительного образа и движений глаз опосредствованы «функциональным зазором», который выражает автономность их функционирования и задает пространство оперативных преобразований. До тех пор, пока рассогласование зрительной и окуломоторной направленности совершается внутри «функционального зазора», оно не оказывает серьезного влияния ни на ход восприятия, ни на характер движений глаз. Лишь выйдя за его пределы, тот или иной компонент зрительного процесса приобретает статус внешнего возмущающего воздействия. Свойства «функционального зазора» определяют возможность и характер включения окуломоторики в содержание чувственного восприятия наблюдателя.

В рамках целостного взаимодействия субъекта восприятия с объектом место и функции движений глаз перманентно меняются. Они выступают и как активные, и как страдательные, и как причина, и как следствие зрительно переживаемых событий. «Копируя» (с указанными ограничениями) пространственно-временные свойства предметов, движения глаз «копируют» и актуальные состояния наблюдателя, способ его восприятия. Поэтому любое перцептивно-окуломоторное соответствие всегда оказывается относительным и преходящим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопреки собственным движениям наблюдателя мир остается для него неподвижным. Феноменальная стабильность зрительно воспринимаемого мира или, в других терминах, константность зрительного направления, принадлежит к числу фундаментальных свойств чувственного восприятия. Попытки ответить на вопрос о причинах данного явления привели к формированию ряда теоретических концепций, ни одна из которых не считается общепринятой.

Несмотря на значительный объем экспериментальных данных, сложившиеся концепции опираются на два понятия: «сетчаточный образ» (или «проксимальная стимуляция») и «движения глаз», относительно которых рассматривается изучаемый процесс. Сетчаточный образ специфицирует «вход» зрительной системы, движения глаз – ее «выход»; процесс восприятия полагается как цепь преобразований, совершающихся между ними. Отсюда берет начало метафора втекания (inflow) – вытекания (outflow) информационного потока, а также практика использования движений глаз в качестве индикатора перцептивного процесса.

Между тем и сетчаточный образ, и движения глаз как таковые презентируют организмический уровень взаимодействия индивида со средой и на психологическом уровне оказываются снятыми. Здесь фигурируют другие реальности – зрительный образ и прецептивная активность, соотнесенные как с объектом, так и с субъектом восприятия. Перцептивный процесс, вплетаясь в ход жизни, становится ее частью, или *событием*, которое требует собственной логики анализа. Восприятие как событие обладает множеством свойств, аспектов и характеристик. Оно инициируется потребностью в определенной информации, предполагает репрезентированность модально-качественных, пространственно-временных и предметно-функциональных свойств объекта, опирается на прошлый опыт индивида, развертывается в соответствии с планом и сформированной установкой, протекает на

разных уровнях организации. С этой точки зрения стабильность воспринимаемого мира является *системным* качеством, которое пронизывает все измерения перцептивного процесса. Накопленный опыт, организующие схемы, планы, принимаемые системы отсчета, установки и ожидания человека играют в появлении данного качества не меньшую роль, чем структура оптической стимуляции либо координации оптических, проприоцептивных, вестибулярных и других сигналов. В основе константности зрительного направления лежит устойчивая интеграция относительно независимых компонентов, соотношение которых широко варьирует. Соответственно, проблема конкретного экспериментального исследования состоит не в поиске способов порождения зрительной стабильности в отдельном окуломоторном акте, а в установлении границ и оснований ее сохранения при нарушении или затруднении данного акта. Этот подход и был последовательно реализован в исследованиях, описанных в книге.

В ходе исследования встала необходимость более глубокого анализа организации окуломоторной активности и ее функций в зрительном восприятии. В качестве единицы анализа выбран фиксационный поворот глаз, который интерпретируется как функциональная структура, подчиненная действию как внешних, так и внутренних детерминант. К их числу относятся: прогнозирование конечного результата, способ управления движениями глаз, ведущий уровень на котором они строятся, сопряженность окуломоторики с другими двигательными актами наблюдателя и т.п. В центре внимания оказываются устойчивые конфигурации (паттерны) движений глаз, реализующие познавательное (перцептивное) отношение индивида к среде. Их невозможно свести к сумме отдельных дрейфов и саккад; каждое из выполняемых движений может быть понято в рамках всего паттерна в целом.

С точки зрения описываемого подхода окуломоторный акт выражает не просто реакцию на проксимальный стимул или выработанный навык. Это – активность субъекта восприятия, направляемая как прошлым и настоящим, так и будущем: определенными намерениями, целями или планами. Результатом такой активности является ориентировка наблюдателя в окружающем пространстве, предполагающая неизменность зрительных направлений объектов во время движений реципирующей поверхности глаза (сетчатки).

Методический смысл отнесенности движений глаз к субъекту восприятия состоит в возможности расчленять поток окуломоторной активности на целостные, относительно самостоятельные единицы

и внутренне сопоставлять их с динамикой познавательных процессов, состояний человека, форм его деятельности и общения. Через отнесенность к субъекту раскрывается механизм произвольного управления взором наблюдателя.

Фиксационный поворот глаз обеспечивается интеграцией (прилаженностью друг к другу) афферентных и эфферентных процессов, развертывающихся в центральной нервной системе (ЦНС). Хотя двигательная цель или намерение реализуются в виде последовательности окуломоторных команд, сами по себе они еще недостаточны: слишком разнообразен и непредсказуем расклад сил, действующих на глазное яблоко. Решающая роль в построении окуломоторного акта принадлежит обратной афферентации (зрительной, проприоцептивной, вестибулярной), которая информирует заинтересованные инстанции ЦНС об эффективности выполняемых движений: соотношении прогнозируемой и актуальной направленности глаз. За тем или иным окуломоторным феноменом всегда стоят особенности управления, или способ функционирования глазодвигательной системы.

В проведенных исследованиях мы попытались раскрыть закономерности организации фиксационного поворота глаз и способы его включения в процесс зрительного восприятия. Идея исследования заключается в том, чтобы проследить функционирование ГДС в состоянии неустойчивости. Последнее достигалось, в частности, путем искусственных преобразований оптической системы координат сетчатки: на глазное яблоко перед зрачком устанавливались миниатюрные оптические системы, которые, смещаясь вместе с глазом, вызывали постоянную трансформацию светового потока. Другие методические приемы состояли в стабилизации позиции окружающих наблюдателя объектов относительно подвижной сетчатки глаза, или же в сужении эффективной зоны афферентации ГДС. Подобные процедуры вносят систематические искажения в контур регуляции движений глаз, которые приводят к тому, что целенаправленный фиксационный поворот развертывается во времени и пространстве, а глазодвигательная система длительное время (иногда постоянно), находится в неустойчивом состоянии. В результате человек оказывается в парадоксальном видимом мире, а низкоуровневые сенсомоторные механизмы теряют способность оперативного обслуживания решения зрительных задач. Особенности ориентировки в этом мире, характер нарушений и ход восстановления зрительного процесса проливают свет на механизмы функциональной организации фиксационного поворота и закономерности перцептивно-окуломоторных отношений.

Совокупный эмпирический материал, изложенный в книге, указывает на системное строение фиксационного поворота глаз: его многомерность, многоуровневость, способность к самоорганизации. Согласно полученным данным функциональная организация целенаправленных движений не только «преломляет» действие внешних детерминант, но и подчиняется своей собственной логике развития. Условием этого процесса является относительная независимость окуломоторных структур от содержательной динамики зрительного образа. Связь движений глаз и зрительного восприятия также оказывается системной, т.е. многозначной, сложно-опосредствованной, подчиненной логике взаимодействия субъекта восприятия с объектом.

Выполненные исследования убедительно доказывают, что стабильность видимого мира не является простым эффектом координации сенсомоторных процессов, обслуживающих работу зрительной системы. Алгебраическое сложение, взаимная компенсация, «принятие в учет» или оценка ретинальных и моторных сигналов о движении глаз наблюдателя невозможны уже потому, что существует диапазон позиционной «неточности» поворотов глаз, внутри которого стабильность видимого мира не нарушается. Более того, величина этого диапазона зависит не только от абсолютной величины позиционной ошибки (дисметрия), но и от угла рассогласования между направлениями движения взора и соответствующего смещения глаз. Феномен стабильности восприятия имеет сложное строение. По степени выраженности кажущегося движения объектов во время движений глаз можно выделить три относительно самостоятельных диапазона: 1) абсолютной константности, в пределах которого предметы, несмотря на рассогласование зрительного и окуломоторного направлений, воспринимаются как неподвижные, 2) относительной константности, когда, в зависимости от типа движений глаз, одни и те же предметы могут восприниматься и как стабильные, и как смещающиеся, 3) аконстантного восприятия, когда неподвижные предметы воспринимаются перемещающимися при любых движениях глаз.

Атрибуты образа видимого мира — стабильность и движение — не существуют безотносительно к наблюдателю и его представленности в окружающем пространстве. Кроме видимых частей своего тела — рук, ног и туловища, зрительное пространство включает визуальный эгоцентр, или место, куда в данный момент направлен взор (внимание) человека. Именно взор — как своего рода перцептивный функциональный орган, а не глаз сам по себе обладает позиционным чувством, многократно описанном в литературе.

Решение о стабильности/движении видимого мира определяется самой возможностью наблюдателя изменять позицию взора внутри той или иной пространственной системы координат (экзо- либо эгоцентричной). Поэтому важнейшим, (но не достаточными) условиями поддержания стабильности видимого мира являются достижение глазодвигательной системой состояния устойчивого равновесия, с одной стороны, и экологическая достоверность окружающей наблюдателя визуальной среды – с другой.

Утрата стабильности видимого мира (частичная или полная) означает переход к поддержанию константности направления –– важнейшему параметру системы управления взором, впервые описанному в наших исследованиях. Оно характеризует способность наблюдателя выдерживать реальные (эгоцентрические) ориентиры движения независимо от условий выполнения окуломоторного акта и, в частности, от способа афферентации движений. Коэффициент константности направления взора является величиной переменной и зависит от вида движений глаз, их места в структуре фиксационного поворота, способа восприятия и индивидуальных особенностей наблюдателя. Отношения зрительного образа и движений глаз опосредованы «функциональным взором», который выражает автономность их функционирования и задает пространство оперативных преобразований.

Проведенные нами исследования показали, что глазодвигательная система представляет собой исполнительское звено в системе управления взором и не предназначена для выполнения гностических функций. Как биологическая система автоматического регулирования она обладает свойством самоорганизации, что позволяет ей подстраиваться к изменившимся параметрам функционирования, изменяя диапазон условий сохранения стабильности видимого мира.

Таким образом, новая исследовательская методология позволила нам получить оригинальные экспериментальные факты и перцептивные феномены, которые, на наш взгляд, дают новые ориентиры для решения проблемы стабильности видимого мира и ряда других сложных вопросов зрительного восприятия.

ЛИТЕРАТУРА

Ананьев Б.Г. Психология чувственного познания. М.: АПН РСФСР, 1960.

Ананьев Б.Г. Сенсорно-перцептивная организация человека // Познавательные процессы: ощущения, восприятие. М.: Педагогика, 1982. С. 7–31.

Андреева Е.А. Экспериментальное исследование функций и механизмов глазодвигательной системы: Дис. ... канд. психол. наук. М., 1972.

Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю., Ломов Б.Ф. К вопросу о функциях движений глаз в процессе зрительного восприятия // Вопросы психологии. 1972. № 1. С. 3–18.

Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю., Ломов Б.Ф. Механизм элементарных движений глаз как следящая система // Моторные компоненты зрения. М., 1975. С. 7–55.

Анохин П.К. Предисловие к русскому изданию // Процессы регулирования в биологии. М.: ИЛ, 1960. С. 5–11.

Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Наука, 1978.

Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М.: Наука, 1980.

Арбиб М. Метафорический мозг. М.: Мир, 1976.

Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие. М.: Прогресс, 1974.

Баллонов М.А. Последовательные образы. М.: Наука, 1970.

Барабанщиков В.А. Регулируют ли зрительные образы следящие движения глаз? // Теоретические и экспериментальные исследования в психологии. М.: Наука, 1977. С. 136–150.

Барабанщиков В.А. Движения глаз в условиях положительной зрительной обратной связи: Дис. ... канд. психол. наук. М., 1978.

Барабанщиков В.А. Зрительная деятельность человека-оператора: регулируют ли зрительные образы следящие движения глаз? // Психологические аспекты человеческой деятельности. М., 1978. С. 109–112.

Барабанщиков В.А. Исследование глазодвигательной системы в условиях положительной обратной связи // Движения глаз и зрительное восприятие. М., 1978. С. 117–165.

Барабанщиков В.А. Формы глазодвигательной активности в условиях положительной зрительной обратной связи // Физиология человека. 1979. № 4, С. 694–701.

Барабанщиков В.А. Условия, содействующие адаптации глазодвигательной системы человека // Психологический журнал. 1983. № 2. С. 15–27.

Барабанщиков В.А. Окуломоторные структуры восприятия. М.: Изд-во ИП РАН, 1997.

Барабанщиков В.А. Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.

Барабанщиков В.А. Психология восприятия: организация и развитие перцептивного процесса. М.: Изд-во Когито-Центр, 2006.

Барабанщиков В.А., Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю. Метод оптической трансформации зрительной обратной связи в исследованиях глазодвигательной системы человека // Движения глаз и зрительное восприятие. М.: Наука, 1978. С. 71–84.

Барабанщиков В.А., Белопольский В.И. Функциональная гибкость глазодвигательной системы // Мозг и психические процессы. М.: Наука, 1984, С. 230-235.

Барабанщиков В.А., Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю. Оптические методы трансформации зрительной обратной связи // Психологический журнал. 1980. Т. 1. С. 85–94.

Барабанщиков В.А., Зубко А.П. Амбивалентная зрительная обратная связь и регуляция движений глаз // Физиология человека. 1980. Т. 4. № 2. С. 220–223.

Барабанщиков В.А., Милад М.М. Детерминация целенаправленных поворотов глаз при восприятии комплексных объектов // Проблемы психологии восприятия: традиции и современность. М.: ИП РАН, ПИ РАО, 1995. С. 67–89.

Батуев А.С., Таиров О.П. Мозг и организация движений. Л.: Наука, 1978.

Бауэр Т. Психическое развитие младенца. М.: Прогресс, 1979.

Белопольский В.И. О механизмах стабильности видимого мира при ограничении поля зрения // Движение глаз и зрительное восприятие. М., 1978b. С. 171–186.

Белопольский В.И. Исследование динамики функционального поля зрения методом варьирования величины оптической обратной связи: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 1978.

Белопольский В.И. Механизмы зрительной деятельности при ограничении поля зрения // Психологические аспекты человеческой деятельности. М., 1978. С. 92–108.

Белопольский В.И. Селективное внимание и регуляция движений глаз // Психологический журнал. 1985. Т. 6. № 3. С. 56–74.

Белопольский В. И., Вергилес Н. Ю. Адаптивная реакция глазодвигательной системы на изменение величины зрительной обратной связи // Физиология человека, 1979. Т. 5. № 3. С. 543–551.

Белопольский В.И. О механизме управления взором человека // Психология восприятия. М.: Наука, 1989. С. 46–59.

Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю. Фотоэлектрический метод регистрации ротаторных движений глаз человека // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1990. Т. 24. № 5. С. 51–53.

Благовещенская Н.С. Электронистагмография при очаговых поражениях головного мозга. М.: Медицина, 1968.

Блужене А. Аккомодация, движения глаз и оптическая коррекция при содружественном косоглазии. Каунас: Версме, 1990.

Буякас Т.М., Михеев В.А. Движения закрытых глаз в состояниях концентрации внимания и медитации // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. 1987. № 4. С. 43–52.

Буякас Т.М., Михеев В.А., Пономаренко А.А. Движения закрытых глаз как индикатор динамики внутреннего усилия // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. 1985. № 3. С. 24–31.

Валлах Г. Восприятие движения // Восприятие: механизмы и модели. М.: Мир, 1974. С. 301–308.

Вергилес Н.Ю., Андреева Е.А. Наша точка зрения на механизм зрительно-моторной координации // Управление движениями. М.: Наука, 1990. С. 143–150.

Владимиров А.Д., Хомская Е.Д. Процессы экстраполяции в глазодвигательной системе. М., 1981.

Волков Н.Н. Восприятие предмета и рисунка. М.: АПН РСФСР, 1950.

Вундт В. Основания физиологической психологии. М.: Изд-во Н.А. Абрикосова, 1880.

Гатев В.А. Развитие зрительно-двигательной координации в детском возрасте. София: Изд-во Болгарской Академии наук, 1973.

Геринг Э. Пространственное чувство и движения глаз // Руководство к физиологии. СПб., 1887. Т. 3. Ч. 1. С. 521–923.

Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988.

Гиппенрейтер Ю.Б. Опыт экспериментального исследования работы зрительной системы наблюдателя // Инженерная психология. М.: Изд-во МГУ, 1964. С. 192–230.

Гиппенрейтер Ю.Б. Движения человеческого глаза. М.: Изд-во МГУ, 1978.

Гиппенрейтер Ю.Б., Романов В.Я. Непроизвольные микронистагмы глаз и их связь с произвольной деятельностью человека // Управление движениями. М.: Наука, 1990. С. 113–123.

Гиппенрейтер Ю.В., Романов В.Я. Новый метод исследования внутренних форм зрительной активности // Вопросы психологии. 1970. № 5. С. 36–52.

Глезер В.Д. К характеристике глаза как следящей системы // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. 1959. Т. 45. № 3. С. 271–279.

Глезер В.Д. Зрение и мышление. Л.: Наука, 1985.

Глезер В.Д., Леушина Л.И. О модели зрительной фиксации объекта и функциях мироскачков глаз // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 56–68.

Гордеева Н. Л., Назаров А. И., Романюта В. Г., Яровинский А. Н. Движения глаз и управление следами сенсорной памяти // Труды ВНИИТЭ. 1972. Вып. 4. С. 38–63.

Гранит Р. Основы регуляции движений. М.: Мир, 1973.

Грегори Р.Л. Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия. М.: Прогресс, 1970.

Грегори Р. Разумный глаз. М.: Мир, 1972.

Гуревич Б.Х. Движения глаз как основа пространственного зрения и как модель поведения. Л.: Наука, 1971.

Декарт Р. Диоптрика // Рассуждение о методе. М.: АН СССР, 1953.

Джемс У. Психология. М.: Педагогика, 1991.

Дормашев Ю.Б., Романов В.Я. Гальванический микронистагм и его свойства // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. 1983. № 2. С. 36–47.

Дормашев Ю.Б., Романов В.Я. Связь микросаккад с функциональными единицами кратковременного запоминания // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. 1989. № 1. С. 16–29.

Запорожец А.В., Венгер Л.А., Зинченко В.П., Рузская А.Г. Восприятие и действие. М.: Просвещение, 1967.

Зенкин Г.М., Петров А.П. Преобразования последовательного образа при движениях наблюдателя, константность зрительного поля и непредметные механизмы инвариантности // Физиология человека. 1976. № 2. С. 925–931.

Зинченко В.П. Теоретические проблемы психологии восприятия // Инженерная психология. М.: Изд-во МГУ, 1964. С. 231–263.

Зинченко В.П., Вергилес Н.Ю. Формирование зрительного образа. М.: Изд-во МГУ, 1969.

Зысин С.Л. Оценка положения точки на линии // Исследование принципов переработки информации в зрительной системе. Л.: Наука, 1970.

Карпов Б.А. О некоторых результатах исследования особенностей управления взором при синдромах поражения лобных систем мозга у человека // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 114–150.

Карпов Б.А., Карпова А.Н. Об организации движений прослеживания в зрительной системе человека // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. 1974. Т. 10. С. 1150–1158.

Карпов Б.А., Карпова А.Н. Психопатологические аспекты глазодвигательной активности // Движение глаз и зрительное восприятие. М.: Наука, 1978. С. 236–275.

Карпов Б.А., Карпова А.Н., Зеленкин В.В. Амплитудно-частотный и автокорреляционный анализ фиксационных микроскачков глаз // Сенсорные системы. Зрение. Л.: Наука, 1982. С. 196–207.

Курашвили А.Е., Бабияк В.И. Физиологические функции вестибулярной системы. Л.: Медицина, 1975.

Лаурингсон А.И., Шедровицкий Л.П. Некоторые сведения о системе слежения глаза // Биофизика. 1965. Т. 10. Вып. 1. С. 137–140.

Леви Д. Церебральная асимметрия и эстетическое переживание // Красота и мозг. М.: Мир, 1995. С. 227–250.

Леонтьев А.Н. О механизме чувственного восприятия // Вопросы психологии. 1959. № 2. С. 19–41.

Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Политиздат, 1977.

Леонтьев А.Н. Лекции по общей психологии. М.: Смысл, 2000.

Леушина Л. И. Глазодвигательная система и ее функции // Физиология сенсорных систем. Ч. 1. Физиология зрения. М.– Л.: Наука, 1971. С. 60–77.

Леушина Л.И. Движения глаз и пространственное зрение // Вопросы физиологии сенсорных систем (Обзоры). М.–Л.: Наука, 1966.

Леушина Л.И. Об источниках информации и механизмах оценки пространственных свойств зрительных объектов: Автореф. дис. ... докт. психол. наук. Л., 1974.

Леушина Л.И. Зрительное пространственное восприятие. Л., 1978.

Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека. М., 1974.

Логвиненко А.Д. Зрительное восприятие пространства. М.: Изд-во МГУ, 1981.

Логвиненко А.Д. Экспериментальные исследования инвертированного зрения // Зрительные образы: феноменология и эксперимент. Душанбе: Дониш, 1974. Вып. IV. С. 80–146.

Логвиненко А.Д., Жедунова Л.Г. Адаптации к инверсии сетчаточных изображений: непрерывное ношение инвертоскопа не является необходимым // Вопросы психологии. 1981. № 6. С. 83–90.

Логвиненко А. Д., Столин В. В. Некоторые аспекты проблемы константности восприятия в условиях инверсии поля зрения // Труды ВНИИТЭ. 1973. Вып. 6.

Локк Дж. Опыт о человеческом разуме // Избранные философские произведения. М.: Изд-во социально-экономической литературы, 1960.

Ломов Б.Ф. Человек и техника. Л., 1966.

Луук А., Барабанщиков В., Белопольский В. Движения глаз и проблема стабильности воспринимаемого мира // Ученые записки Тартуского ун-та. 1977. № 429. С. 122–167.

Мах Э. Анализ ощущений. СПб.: Изд-во Скирмунта, 1907.

Милсум Дж. Анализ биологических систем управления. М.: Мир, 1968.

Миракян А.И. Психология пространственного восприятия. Ереван: Айстан, 1990.

Миракян А.И. Константность и полифункциональность восприятия. М.: Психологический институт РАО, 1992.

Митрани Л. Саккадические движения глаз и зрение. София: Изд-во БАН, 1973.

Миттельштадт Х. Управление и регулирование при ориентации живых существ // Процессы регулирования в биологии. М.: Иностранная литература, 1960. С. 104–124.

Митькин А.А. Электроокулография в инженерно-психологических исследованиях. М.: Наука, 1974.

Митькин А.А. Системная организация зрительных функций. М.: Наука, 1988.

Надирашвили Ш.А. Психологическая природа восприятия. Тбилиси: Мецниереба, 1976.

Найссер У. Познание и реальность. М.: Прогресс, 1981.

Наканов М.Г. О некоторых особенностях восприятия в темноте движения светящегося объекта // Вопросы психологии. 1973. № 5. С. 112–115.

Ноттон Д., Старк Л. Движения глаз и зрительное восприятие // Восприятие. Механизмы и модели. М., 1974. С. 226–240.

Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 1.

Панов В.И. Непосредственно-чувственное восприятие движения объектов // Психологический институт РАО, 1993.

Панов В.И. Порождение стабильности и движения объектов в зрительном восприятии // Проблемы психологии восприятия: традиции и современность. М.: ИП РАН, ПИ РАО, 1995. С. 13–31.

Поддьяков Н. Н., Наканов М. Г., Дремина М. И. Исследование зрительного восприятия движения в условиях безориентирного пространства // Труды ВНИИТЭ. 1971. Вып. 2.

Подольский А.И. Формирование симультанного опознания. М.: Изд-во МГУ, 1978.

Притчард Р. Стабилизированные изображения на сетчатке // Восприятие. Механизмы и модели. М., 1974. С. 194–203.

Проскурякова Н.Г., Шахнович А.Р. Количественные характеристики фиксационных микродвижений глаза // Биофизика. 1968. Т. 13. С. 117–126.

Пушкин В.Н. Оперативное мышление в больших системах. М.–Л., 1965.

Рок И. Введение в зрительное восприятие. М.: Педагогика, 1980. Кн. I, II.

Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. М.: Учпедгиз, 1946.

Рыбалко Е.Ф. Возрастные особенности объема и структуры зрительного поля. Л.: Изд-во ЛГУ, 1969.

Сергиенко Е.А. Антиципация в раннем онтогенезе. М.: Наука, 1992.

Сергиенко Е.А. Раннее когнитивное развитие. Новый взгляд. М., Изд-во ИП РАН, 2006.

Сеченов И.М. Избранные произведения. М., 1952. Т. I.

Смирнов В.П. Зависимость константности воспринимаемой величины объектов от угла их поворота к линии взора наблюдателя при разных дистанциях наблюдения // Зрительные ощущения и восприятия. М.–Л.: ОГИЗ, СОЦЭКГИЗ, 1935. С. 256–263.

Сперлинг Дж. Информация, полученная при коротких зрительных предъявлениях // Инженерная психология за рубежом. М.: Прогресс, 1967. С. 7–68.

Филин В. А. О механизме непроизвольных скачков глаз и их роли в зрительном восприятии // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 69–101.

Филин В.А., Сидоров С.П. Непроизвольные движения глаз при умственной нагрузке // Журнал высшей нервной деятельности. 1972. Т. 22. С. 688–691.

Хайнд Р. Поведение животных. М.: Мир, 1975.

Хейн А., Хелд Р. Нейронная модель лабильной сенсомоторной координации // Проблемы бионики. М.: Мир, 1965. С. 100–106.

Шанэ М., Паюс Ж., Лепля Ж. Обнаружение и локализация пропусков элементов точечных фигур при тахистоскопическом предъявлении: роль центрального и периферического зрения // Движение глаз и зрительное восприятие. М.: Наука, 1978. С. 221–229.

Шахнович А.Р. О роли афферентации в регуляции движений глаз // Бионика. М.: Наука, 1965. С. 110–116.

Шахнович А.Р. Мозг и регуляция движений глаз. М.: Медицина, 1974.

Шеррингтон Ч. Интегративная деятельность нервной системы. Л.: Наука, 1969.

Юнг Р. Оптическая регуляция движений глаз, внимание и восприятие движения // Системная организация физиологических функций. М.: Медицина, 1969.

Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965.

Allport F.H. Theories of perception and the concept of structure. N.Y.: John Wiley & Sons, 1955.

Alpern M. Eye movements // Handbook of sensory physiology / Ed. by D. Jameson, L. Hurvich. Berlin – Heidelberg – NY: Springer-Verlag, 1972. V. VII/4: Visual Psychophysics. P. 102–145, 303–330.

Aseh S.E., Witbin H.A. Studies in space orientation. II Perception of the upright with displaced visual field and with body tilted // J. Exp. Psychol. 1948. V. 38. P. 455–477.

Austin M., Singer G., Wallace M. Three processes which occur during adaptation to transformation of the visual field // Perception. 1974. V. 3. P. 439–450.

Bach-Y-Rita P. Extraocular proprioception and muscle function // Bibl. Ophtalmol. 1972. V. 82. P. 56–60.

Bahill A.T., Adler D., Stark L. Most naturally occuring human saccades have magnitudes of 15 degrees or less // Invest. Opthalmol. 1975. V. 14. P. 468–469.

Bahill A.T., Stark L. The trajectories of saccadic eve movements // Scientific American. 1979. V. 240. P. 108–117.

Bain A. The senses and the intellect. L.: Longmans, Green, 1855.

Barnes G.R. The role of the vestibular system in head-eye coordination // J. Physiol. (J. Brit). 1975. V. 246. N 1. P. 143–164.

Barnes G.R., Gresty M.A. Characteristics of eye movements to targets of short duration // Aerosp. Med. 1973. V. 44. P. 1236–1240.

Becker W. The control of eye movements in the saccadic system // Bibl. Ophtalmol. 1972. V. 82. P. 233–243.

Becker W. Accuracy of saccadic eye movements and maintenance of eccentric eye positions in the dark // Vision Res. 1973. V. 13. P. 1021–1034.

Becker W. Do correction saccades depend exclusively on retinal feedback? A note on the possible role of non-retinal feedback // Vision Res. 1976. V. 16. P. 425–427.

Becker W., Fuchs A. F. Further properties of the human saccadic system: Eye movements and correction saccades with and without visual fixation points // Vision Res. 1969. V. 9. P. 1247–1258.

Becker W., Jürgens R. An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli // Vision Res. 1979, V. 19. P. 967–983.

Becker W., Klein H.-M. Accuracy of saccadic eye movements and maintenance of eccentric eye positions in the dark // Vision Res. 1973. V. 13. P. 1021–1034.

Bedell H., Klopfenstein J.F., Yuan N. Extraretinal information about eye position during involuntary eye movement: optokinetic afternystagmus // Percept. Psychophys. 1989. V. 46. P. 579–586.

Belopolsky V.I. Frame and metrics for the reference signal // Behav. and Brain Science. 1994. V. 17. P. 313–314.

Bender M. B. The eye-centring system: A theoretical consideration // Arch. Neurol. Psychiat. 1955. V. 73. P. 685–699.

Bennet — Clark H.C. The oculomotor response to small target displacement // Optica Acta. 1964. V. 11. P. 301–314. Bingham, 1993.

Bizzi E. The coordination of eye-head movements // Scientific American. 1974. V. 231. P. 100–106.

Bizzi E., Kalil R. E., Morasso P., Tagliasco V. Central programming and peripheral feedback during eye-head coordination in monkeys // Bibl. Ophtalmol. 1972. V. 82. P. 220–232.

Bizzi E., Kalil R. E., Tagliasco V. Eye-head coordination in monkeys: Evidence for centrally patterned organization // Science. 1971. V. 173. P. 452–454.

Blomberg L.H. The significance of so-colled «end-position-nystagmus» and its relation to nystagmus produced by evipan // Acta Psychiat. Neurol. Scand. 1958. V. 33. P. 138–150.

Boyce P.R. The visual perception of movement in the absence of an external frame of reference // Optica Acta. 1965. V. 12. P. 47–54.

Bradley D.R. The apparent size of the path traversed by a rotating target during saccadic and smooth persuit: new data on the shrinking circle illusion // Percept. Psychophys. 1977. V. 22. P. 183–190.

Bridgemen В., Hendry D., Stark L. Failure to detect displacement of the visual world during saccadic eye movements // Vision Res. 1975. V. 15. P. 719–722.

Bridgeman B., Van der Heijden A.H.C., Velichkovsky B.M. A theory of visual stability across saccadic eye movements // Behav. and Brain Science. 1994. V. 17. P. 247–292.

Brindley G.S., Merton P.A. The absence of positional sense in the human eye // J. Physiol. (London). 1960. V. 153. P. 127–130.

Brown T.G. Reflex orientation of the optic axes and the influence upon it of the cerebral cortex// Arch. Neurol. Physiol. 1922. V. 7. P. 571–578.

Brown J.F. The visual perception of velocity // Psychol. Forsch. 1931. Bd. 14. P. 199–232.

Brown J.F., Voth A.C. The path of seen movement as a function of the vectorfield // Amer. J. Psychol.1937. V. 49. P. 543–563.

Brunswik E. Perception and the representative design of psychological experiments. Berkeley: Univ. California Press, 1956.

Callan J.W., Ebenholtz S.M. Directional changes in the vestibular ocular response as a result of adaptation to optical tilt // Vision Res. 1982. V. 22. P. 37–42.

Carr H. The pendular whiplash illusion // Psychol. rev. 1907. V. 14. P. 169–182.

Cohen R.L. Problems in motion perception. Uppsala, 1964.

Coren S. An efferent component in the visual perception of direction and extent // Psychol. Rev. 1986. V. 93. P. 391–410.

Coren S., Bradey D.R., Hoenig P., Girgus G.S. The effect of smooth tracking and saccadic eye movements on the perception of size: the shrinking circle illusion // Vision Res. 1960. V. 15. P. 49–55.

Coren S., Hoenig P. Effect of non-target stimuli upon the length of voluntary saccades // Percept. and Mot. Skills. 1972. V. 34. P. 499–508.

Cornsweet T.N. Determination of the stimuli for involuntary drift and saccadic eye movements // J. Opt. Soc. Amer. 1956. V. 46. P. 987–993.

Crovits H.F., Daves W. Tendencies of eye movement and perceptual accuracy // J. Exp. Psychol.: HPP. 1962. V. 63. P. 495–498.

Cutting J.E. Perception with an eye for motion. Camridge, MA: MIT Press, 1986.

Cunitz R.J., Steinman R.M. Comparison of saccadic eye movements during fixation and reading // Vision Res. 1969. V. 9. P. 683–6930.

Day R.H., Singer G. Sensory adaptation and behavioral compensation with spatially transformed vision and hearing // Psychol. Bull. 1967. V. 67. P. 307–322.

Dell'Osso L.F. Fixation characteristics in hereditary congenital nystagmus // Amer. J. Optometry and Archives of American Academy of Optometry. 1973. V. 50. P. 85–90.

Dell'Osso L.F., Daroff R.B. Braking saccade — a new fast eye movements // Aviation, Space and Environmental medicine. 1976. V. 47. P. 435–437.

Dell'Osso L.F., Daroff R.B. Functional organization of the motor system // Aerosp. Med. 1974. V. 45. P. 873–875.

Dell'Osso L.F., Flynn J.T., Daroff R.B. Hereditary congenital nystagmus // Arch. Ophthalmol. 1974. V. 92. P. 366–374.

Dichgans J., Wist E., Diener H.C., Brandt Th. The Aubert-Fleischl phenomenon: a temporal frequency effect on perceived velocity in afferent motion perception // Exp. Brain Res. 1975. V. 23. P. 529–533.

Dichgans J., Körner P., Voigt K. Vergleichende Skalierung des afferenten und efferenten Bewegungsseneus beim Menschen: Lineare Punktionen mit verschiederner Anstiegsteilheit // Psychol. Forsch. 1969. Bd. 32. S. 277–295.

Dick A.O. Iconic memory and its relation to perceptual processing and other memory mechanisms// Percept. Psychophys. 1974. V. 16. P. 575–596.

Die van G., Collevijn H. Optokinetic nystagmus in man: role of central and peripheral retina and occurrence of asymmetries // Human Neurobiologv. 1982. V. 1. P. 111–119.

Ditchburn R.W. Eye movements and visual perception. Oxford: Clarendon, 1973.

Dodge R. Five types of eye movements in the horizontal meridian plane of the field of regard // Amer. J. Physiol. 1903. V. 8. P. 307–329.

Dodge R. The participation of the eye movements in the visual perception of motion // Psychol. rev. 1904. V. 11. P. 1–14.

Doesschate I. ten. A new form of physiological nystagmus // Opthalmologica. 1954. V. 127. P. 65–72.

Dunker K. Uber indusierte bewegung (Ein beitrag sur theorie optisch wahrgenommer bewegung) // Psychol. Forsch. 1929. B. 12. S. 180–259.

Ebenholtz S.M. Adaptation to a rotated visual field as a function of degree of optical tilt and exposure time // J. Exp. Psychol. 1966. V. 72. P. 629–634.

Ebenholtz S.M. Optimal imput rates for tilt adaptation // Amer. J. Psychol. 1973. V. 86. P. 193–200.

Ebenholtz S.M. The possible role of eye-muscle potentiation in several forms of prism adaptation // Perception. 1974. V. 3. P. 477–486.

Ebenholtz S.M., Shebilske W.L. The doll reflex: ocularcounterrolling with head-body tilt in the nedian plane // Vision Res. 1975. V. 15. P. 713–717.

Edwards D.C., Goolkasian P.A. Peripheral vision location and kinds of complex processing // J. Exp. Psychol. 1974. V. 102. P. 244–249.

Enright J.T. Voluntary oscilopsia: Watching the world go round // Behav. and Brain Science. 1994. V. 17. P. 260–262.

Epstein W. The processes of “taking into account” in visual perception // Perception. 1973. V. 2. P. 267–285.

Ewert P.H. Factors in space localization during inverted vision. I. Interference // Psychol. rev. 1936. V. 43. P. 527–546.

Feldon S.E., Langston J.W. Square wave jerks: a disorder of microsaccades // Neurology. 1977. V. 27. P. 278–281.

Fender D. H., Nye P. W. An investigation of the mechanisms of eye movement control // Kybernetic. 1961. V. 1. P. 81–93.

Festinger L. Eye movements and perception // The control of the eye movements. N. Y.: Acad. press, 1971. P. 259–273.

Festinger L., Burnham C.A., Ono H., Bamber D. Efference and the conscious experience of perception // J. Exp. Psychol. Monogr. 1967. V. 74. P. 1–36.

Festinger L., Canon L.K. Information about spatial location ba sed on knowledge about efference // Psychol. Rev. 1965. V. 72. P. 373–384.

Festinger L. Easton A.M. Inferences about the efferent system based on perceptual illusion produced by eye movements // Psychol. Rev. 1974. V. 81. P. 44–58.

Festinger L., Sedgwick H.A., Holtzman J.D. Visual perception during smooth pursuit eye movements // Vision Res. 1976. V. 16. P. 1337–1386.

Filehne W. Über das optische Warnehmen von Bewegungen // Z. Sinnesphysiol. 1922. Bd. 43. S. 134–145.

Findlay J.M. Local and global influences on saccadic eye movements // Eye movements: cognition and visual perception. NJ: Erlbaum, 1981. P. 171–181.

Findlay J.M. The visual stimulus for saccadic eye movements in human observers // Perception. 1980. V. 9. P. 7–21.

Findlay J.M. Visual information processing for saccadic eye movements // Spatially oriented behavior. N. Y.: Springer, 1983. P. 281–303.

Findlay J.M., Crowford T.I. The visual control of saccadic eye movements: evidence for limited plasticity // Eye movements and psychological functions: international views. Hillsdale, N. J., L.: Rrlbaum, 1983. P. 115–127.

Fleische E. Physiologisch-optische Notizen // Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien. 1882. Abt. III. Bd. 86. S. 17–25.

Ford A. The pendular whiplash illusion // Psychol. rev. 1907. V. 14. P. 192–204.

Frost D., Poppel E. Different programming modes of human saccadic eye movements as a function of stimulus eccentricity: indication of functional subdivision of the visual field // Biological Cybernetics. 1975. V. 23. P. 39–48.

Fujii E. Forming a figure by movement of a luminous point // Japanese J. Psychol. 1943. V. 18. P. 196–232.

Gauthier G.M., Hofferer J.-M. Eye tracking of self-moved targets in the absence of vision // Exp. Brain Res. 1976a. V. 26. P. 121–139.

Gerrits H.J., Vendrik A.J.H. Artificial movements of a stabilized image // Vision Res. 1970. V. 10. P. 1443–1456.

Gibson J.J. The perception of visual world. N. Y.: Houghton Mifflin, 1950

Gibson J.J. The visual perception of objective motion and subjective movement // Psychol. Rev. 1954. V. 61. P. 304–314.

Gibson J.J. Optical motions and transformation // Psychol. rev. 1957. V. 64. P. 288–295.

Gibson J.J. The sensers considered as perceptual systems. Boston: Houghton Mifflin, 1966.

Gibson J.J. What give rise to the perception of motion? // Psychol. Rev. 1968 V. 75. P. 335–346.

Gibson J.J. The ecological approach to visual perception. Boston: Houghton Mifflin, 1979.

Gibson J.J., Mowrer O.H. Determinants of the perceived vertical and horizontal // Psychol. Rev. 1938. V. 45. P. 300–323.

Gibson J.J., Spelke E.S. The development of perception // Handbook of child's Psychology. V. 3 Cognitive development. N.Y., 1983. P. 1–76.

Gogel W.C. Relative motion and the adjacency principle // Quart. J. Exp. Psychol. 1974. V. 26. P. 425–437.

Gonshor A., Jones G.M. Extreme vestibule-ocular adaptation induced by prolonged optical reversal of vision // J. Physiol. (G. Brit.). 1976. V. 256. P. 381–414.

Gregory R.L. Eye movements and stability of the visual world // Nature. 1958. V. 182. P. 1214–1216.

Gruesser O.-J. Interaction between efferent and afferent signals in visual perception: a history of ideas and experimental paradigms // Acta Psychologyca. 1986. V. 63. P. 3–21.

Haber R.N. (Ed.) Information — processing approaches to visual perception. N.Y.: Wilay, 1969.

Haddad G.H., Steinman R.M. The smallest voluntary saccade: implication for fixation // Vision Res. 1973. V. 13. P. 1075–1086.

Haddad G.M., Winterson B.J. Effect of flicker on oculomotor performance // Basic mechanisms of ocular motility and their clinical implications. Oxford, N.Y.: Pergamon Press, 1975. P. 489–493.

Harris C.S. Beware of the straight — ahead shift — a nonperceptual change in experiments on adaptation to displaced vision // Perception. 1974. V. 3. P. 461–476.

Harris C.S. Perceptual adaptation to inverted, reversed and displaced vision // Psychol. Rev. 1965. V. 72. P. 419–444.

Hebb D.O. The organisation of behavior. New York, Willy, 1949.

Hedlun I. M., White C.T. Nystagmus induced by visual feedback // J. Opt. Soc. Amer. 1959. V. 49. P. 729–730.

Held R. Exposure-history as a factor in maintaining stability of perception and coordination // J. Nerv. Mental Disease. 1961. V. 132. P. 26–32.

Held R., Freedman S. Plasticity in human sensorimotor control // Science. 1963. V. 142. P. 455–461.

Helmholtz H. von. Handbuch der physiologischen Optic. Leipzig, Voss, 1866.

Helmholtz H. von. A treatise on psychological optics. N. Y.: Dover, 1962.

Henderson D. Movement perception and displacement threshold // Percept. Psychophys. 1971. V. 10. P. 313–320.

Hering E. Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges // Handbuch der physiologie. 1879. Bd. 3 (Teil I).

Hershberger W. Afference copy, the closed — loop analogue of von Holst's efference copy // Cybernetics Forum. 1976. V. 8. P. 97–102.

Hershberger W. Impressions of visual direction from extraocular afference // Percept. Psychophys. 1984. V. 35. P. 400–401.

Hershberger W. Saccadic eye movements and the perception of visual direction // Percept. Psychophys. 1987. V. 41. P. 35–44.

Hershberger W.A., Carpenter D.L. Adaptation to inverted retinal polarity: what's up Bishop Berceley? // J. Exp. Psychol. 1979. V. 94. P. 261–268.

Heywood S., Churcher J. Eye movement and the afterimage II. The effect of foveal and non-foveal afterimages on saccadic behaviour // Vision Res. 1972. V. 12. P. 1033–1043.

Hill A.L. Direction constancy// Percept. Psychophys. 1972. V. 11. P. 175–178.

Hochberg J. Higher — oder stimuli and interresponse coupling in the perception of the visual world // Perception: Essays in honor of James J. Gibson. N.Y.: Cornell. Univ. Press, 1974. P. 32–57.

Holst E. von. Active leistungen der menschlichen gesichtswahrehmung. Studium Generale. 1957. B. 10. S. 231–337.

Holst E. von. Relations between the central nervous system and the peripheral organs // Brit. J. Anim. Behav. 1954. V. 2. P. 89–94.

Holst E. von, Mittelstaedt H. Das reafferenzprinzip (Wechselwirkungen zwischen zentralnerven-system und peripherie) // Naturwissenchaften. 1950. B. 37. S. 464–476.

Holst E., Mittelstaedt H. Das Reafferenzprinzip // The behavioral physiology of animals and man. L: Methuew, 1973. P. 139–173.

Holway A.H., Boring E.G. Determinants of apparent visual size with distance variant // Amer. J. Psychol. 1941. V. 54. P. 21–37.

Holly F. Saccadic presentation of a moving target // Vision Res. 1975. V. 15. P. 331–335.

Howard I. P. Binocular disparity, eye, sign, and vergence // J. Opt. Soc. Amer. 1969. V. 59. P. 512–513.

Howard I. P. Vergence, eye signature, and stereopsis // Psychon. Monogr. Suppl. 1970. V. 3. P. 201–219.

Howard I.P. Human visual orientation. N. Y.: Wiley. 1982.

Howard I.P., Templeton W.B. Visual-induced eye torsion and tilt adaptation // Vision Res. 1964. V. 4. P. 433–437.

James W. Principles of psychology. New York: Holt, 1890.

Jeannerod M., Kennedy H., Magnin M. Corollary discharge: its possible implications in visual and oculomotor interactions // Neuropsychologia. 1979. V. 17. P. 241–258.

Johansson G. Configuration in event perception. Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1950.

Jones B., Kabanoff B. Eye movements in auditory space perception // Percept. Psychphys. 1975. V. 17. P. 241–245.

Jung R. Introduction // Bibl. Ophtalmol. 1972. V. 82. P. 1–6.

Kaila E Die Lokalisation der Objekte bei Blickbewegungen // Psychol. Forsch. 1923. Bd. 3. S. 60–72.

Kapoula Z. The influence of peripheral processing on oculomotor programming in a scanning task // Eye movements and psychological functions: international views. Hillsdale, N.J., 1983. P. 101–114.

Kaufman L., Richards W. Spontaneous fixation tendencies for visual forms // Percept. Psychophys. 1969. V. 5. P. 85–88.

Koenderink J.J. Optical flow // Vision Res. 1986. V. 26. P. 161–180.
Koffka K. Principles of Gestalt Psychology. N. Y.-London: Routledge and Kegan Paul, 1935.
Kohler I. The formation and transformation of the perceptual world. N.Y.: Intern. Univ. Press, 1964.
Kohler I. Past, present, and future of the recombination procedure // Perception. 1974. V. 3. P. 515–524.
Kolers P.A. Aspects of motion perception. Oxford: Pergamon press, 1972.
Kommerell G; Täumer R. Investigation of the eye tracking system through stabilized retinal images // Cerebral control of eye movements / Ed. by J. Dichgans, E.Bizzi. Bibliotheca Ophtalmologica. 1972. V. 82. Berlin: Kargel. P. 288–297.
Körner F., Dichgans J. Bewegungswahrnehmung, optokinetiseher Hystagmus und retinale Bildwanderung: Der Einfluss visueller Aufmerksamkeit auf zwei Mechanismen des Bewegungssehens // Albrecht von Graefes Archiv für Klinische und Experimentelle Ophthalmologie. 1967. Bd. 174. S. 34–48.
Kornmüller A E. Eine experimentelle Anaesthesie der ausseren Augenmuskeln am Menschen und ihre Auswirkungen // Journal für Psychologie, Neurologie und Heurophysiologie. 1931. Bd. 41. S. 354–366.
Lawrence W.H., Lightfoot W.E. Continuous vertical pendular eye movements after brain-stem hemorrhage // Neurology. 1975. V. 25. P. 896–898.
Lee D.N. Visual information during locomotion // Perception: Essays in honor of James J. Gibson. Ithaca/London: Cornell Univ. Press, 1974. P. 250–267.
Lévy-Schoen A., Blanc-Garin J. On oculomotor programming and perception // Brain Res. 1974. V. 71. P. 443–450.
Liebig J. Chemistry in its application to agriculture and physiology. L.: Taylor and Walton, 1847.
Locher P.J., Nodin C.F. Stimulus symmetry directs eye movements in an aesthetic judgment task // Eye movements: from phisiology to cognition. Amsterdam: North-Holland. 1987. P. 367–374.
Ludvigh E. Possible role of proprioception in the extraocular muscles // Arch. Ophtahlmol. 1952. V. 48. P. 436–441.
Mach E. Die Analyse der Empfindungen. Jena: Fischer, 1885.
Mack A., Bachant J. Perceived movement of the after-image during eye movements // Percept. Psychophys. 1969. V. 6. P. 379–384.
Mack A. An investigation of the relationship between eye and retinal image movement in the perception of movement // Percept. Psychophys. 1970. V. 8. P. 291–298.
Mack A., Fendrich R, Sirigatti S. A rebound illusion in Visual tracking // Amer. J. Psychol. 1973. V. 2. P. 425–433.

Mack A., Herman E. A new illusion. The underestimation of distance during pursuit eye movements // Percept. Psychophys. 1972. V. 12. P. 471–473.

Mack A., Herman E. Position constancy during pursuit eye movement: an investigation of the Filehne illusion // Quart. J. Exp. Psychol. 1973. V. 25. P. 71–84.

Mack A., Herman E. The loss of position constancy during pursuit eye movement // Vision Res. 1978. V. 18. P. 55–62.

Mackay D.M. Theoretical models of space perception // Aspects of the theory of artificial intelligence. N.Y.: Plenum Press, 1962. P. 83–103.

Mackay D.M. Elevation of visual threshoud by displacement of retinal image // Nature (London). 1970. V. 225. P. 90–92.

MacKay D.M. Voluntary eye movements as a questions // Cerebral control of eye movements / Ed. by J. Dichgans, E. Bizzi. Bibliotheca Ophtalmologica. 1972. V. 82. Kargel: P. 369–376.

MacKay D.M. Visual stability and voluntary eye movements // Handbook of sensory physiology / Ed. by R. Jung. Berlin, N. Y.: Springer-Verlag, 1973. V. Vll/3. P. 307–332.

Mackay D.M., Mittelstaedt H. Visual stability and motor control (reafference revisited) // Cybernetics and Bionics / Ed. by W.D.Keidel. Munich: Oldenbourg, 1974. P. 83–104.

Mackworth N.H. Stimulus density limits the useful field of view // Eye movements and psychological processes / Ed. by R.A. Mounty, I.W. Senders. N. Y., 1976. P. 307–322.

Mackworth N.H., Morandi A.J. The gaze selects informative details within pictures // Percept. Psychophys. 1967. V. 2. P. 547–552.

Magnusk i H.S., Lai D.C. Computer control of the foveal and periferal visual field // Proc. 28-th ann. couf. eng. medical and blol. New Orleans La. Chevy Case, Md., 1975. V. 17. P. 325.

Mapp A.P., Ono H. The rhino-optical phenomenon: ocular parallax and the visible field beyond the nose // Vision Res. 1986. V. 26. P. 1163–1165.

Mateeff S., Yakimoff N., Hohnsbein J., Ehrenstein W.H. Perceptual constancy during ocular pursuit: a quantitative estimation procedure // Percept. Psychophys. 1991. V. 49. P. 390–392.

Matin E. Saccadic suppression: a review and an analysis // Psychol. Bull. 1974. V. 81. P. 899–917.

Matin L. Eye movements and percived visual direction // Handbook of sensory physiology. V. VII/4. Visual psychophysics / Ed. by D. Jameson, L. M. Hurvich. Heidelberg; New York, 1972. P. 331–380.

Matin L. A possible hybrid mechanism for modification of visual direction associated with eye movements — the paralyzed — eye experiment reconsidered // Perception. 1976. V. 5. P. 233–239.

Matin L., Matin E., Pearce D.G. Visual perception of direction when voluntary saccades occur. I. Relation of visual direction of a fixation target extinguished before a saccade // Percept. Psychophys. 1969. V. 5. V. 65–80.

Matin L., Matin E., Pearce D.G. Eye movements in the dark during the attempt to maintain a prior fixation position // Vision Res. 1970. V. 10. P. 837–857.

Matin L., Picoult E., Stevens J.K., Edwards M.W., Young D., McArthur R. Oculoparalytic illusion: visual-field dependent spatial mislocalizations by humans partially paralyzed with curare // Science. 1982. V. 216. P. 198–201.

Matin L., Picoult E., Stevens J.K. Perceptual consequence of experimental extraocular muscle paralysis // Spatially oriented behavior. N.Y.: Springer-Verlag, 1983. P. 243–279.

Milhorn H.T. The application of control theory to physiological systems. Philadelfia; London, 1966.

Miller J.M. Information used by the perceptual and oculomotor system regarding the amplitude of saccadjc and pursuit eye movements // Vision Res. 1980. V. 20. P. 59–68.

Mittelstaedt H. Basic solutions to the problem of head — centric visual localization // Perception and control of self-motion. NJ: Earlbaum, 1990. P. 267–288.

Monahan J.S. Extraretinal feedback and visual localization // Percept. Psychophys. 1972. V. 12. P. 349–353.

Morgan-Paap C.L. The constancy of egocentric visual direction. Unpublished doctoral dissertation, University of Wisconsin, 1975.

Morrison L.C. Psycho-optical movements of the eyes. Part II // British J. Physiol. Optics. 1963. V. 20. P. 142–160.

Murphy B.J., Kowler E., Steiman R.M. Slow oculomotor control in the presence of moving backgrounds // Vision Res. 1975. V. 15. P. 1263–1268.

Nachmias J. Two-dimensional motion of the retinal image during monocular fixation // J. Opt. Soc. Amer. 1959. V. 49. P. 901–906.

Nachmias J. Determiners of drift of the eye during monocular fixation // J. Opt. Soc. Amer. 1961. V. 51. P. 761–766.

Nakayama K., Loomis J.M. Optical velocity patterns, velocity sensitive neurons, and space perception: a hypotesis // Perception. 1974. V. 3. P. 63–80.

Neisser U. Cognitive psychology. New York: Appleton-Century-Crofts, 1967.

Orban G., Duysens J., Callens M. Movement perception during voluntary saccadic eye movements // Vision Res. 1973. V. 13. P. 1343–1353.

Otts P.P., Van Gisbergen T.A.. Eggermont J. Metrics of saccade responses to visual double stimuli: two different modes // Vision Res. 1983. V. 24. P. 1169–1179.

Over R. An Experimentally induced conflict between vision and proprioception // Brit. J. Psychol. 1966. V. 57. P. 335–341.

Over R. Effect of the angle of tilt of the inspection figure on the magnitude of a kinesthetic aftereffect // J. Exp. Psychol. 1967. V. 74. P. 249–253.

Piaget J. The mechanisms of perception. N.Y.: Basic Books, 1969.

Prinz W. Asymmetrical control areas in continuous visual search // Eye movements and psychological functions: international views. Hillsdale, N.J., 1983. P. 85–100.

Rashbass C. The relationship between saccadic and smooth tracking eye movements // J. Physiol. 1961. V. 159. P. 326–338.

Rexroad C.N. Eye movements and visual after-images // Amer. J. Psychol. 1928. V. 40. P. 426–433.

Richards W. Saccadie suppression // J. Opt. Soc. Amer. 1969. V. 59. P. 617–623.

Rieger J.H., Toet L. Human visual navigation in the presence of 3D rotations // Biological Cybernetics. 1985. V. 52. P. 377–381.

Riggs L.A., Tulunay S.U. Visual effects of varing the extent of compensation for eye movements // J. Opt. Soc. Amer. 1959. V. 49. P. 741–745.

Robinson D.A. Eye movements evoked by collicular stimulation in the alert monkey // Vision Res. 1972. V. 12. P. 1795–1808.

Robinson D.A. Oculomotor control signals // Basic mechanisms of ocular motility and their clinical implications. Oxford; N. Y., 1975. P. 337–374. Discuss. P. 375–378.

Robinson D. A. The mechanics of human pursuit movements // J. Physiol. 1965. V. 180. P. 569–591.

Rock I. The nature of perceptive adaptation. N.Y.: Basic Books, 1966.

Rock I., Halper F. Form perception without retinal image // Amer. J. Psychol. 1969. V. 82. P. 425–440.

Rock I. The logic of perception. Cambrige: MIT press, 1983.

Rock J., Ebenholtz S. Stroboscopic movement based on change of phenomenal rather than retinal location // Amer. J. Psychol.1962. V. 72. P. 193–207.

Roland P.E. Sensory feedback to the cerebral cortex during voluntary movement in man // Behavioral and brain sciences. 1978. V. 1. P. 129–171.

Salthouse T.A., Ellis C.L. Determinants of eye-fixation duration // Amer. J. Psychol. 1980. V. 93. P. 207–234.

Schick A.M., Riggs L.A. The course of visual inhibition during voluntary saccades // J. Opt. Soc. Amer. 1968. V. 58. P. 562–569.

Schiller P.H., Koerner F. Discharge characteristics of single units in the superior colliculus of the alert rhesus monkey // J. Neurophysiol. 1971. V. 34. P. 920–936.

Schiller P.H., Stryker M. Single-unit recording and stimulation in superior colliculus of the alert rhesus monkey // Journal Neurophysiol. 1972. V. 35. P. 915–924.

Senders J.W. Speculations and notions // Eye movements and psychological processes. N.J., 1976. P. 355–365.

Shebilske W.L. Extraretinal information in corrective saccade and inflow vs. outflow theories of visual directional onstancy // Vision Res. 1976. V. 16. P. 621–628.

Shebilske W.L. Visuamotor coordination in visual direction and position constancies // Stability and constancy in visual perception. N.Y.: Wiley, 1978. P. 21–70.

Shebilske W.L. An ecological efference mediation theory of natural event perception // Issues in perception and action. Hillsdale: Erlbaum, 1985. P. 183–301.

Sheppard R.H. Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking and dreaming // Psychol. Rev. 1985. V. 91. P. 417–447.

Sherrington G. S. Observation on the sensual role of the proprioceptive nerve supply of the extrinsic ocular muscles // Brain. 1918. V. 41. P. 332–343.

Singer G., Day R.H. Sensory adaptation with aftereffect: evidence for two processes // Perceptual development: its relation to theories of intelligence & cognition. Chicago, Illinois: Institute of Juvenile Research, 1966. P. 187–209.

Sirigatti S. The tau effect and its disruption with the availability of information about velocity // Atti. Fondaz. G. Ronchi. 1934. V. 29. P. 177–197.

Skavenski A.A. Inflow as a source of extraretinal eye position information // Vision Res. 1972. V. 12. P. 221–229.

Skavenski A.A. The nature and role of extraretinal eye-position information in visual localization // Eye movements and psychological processes. New Jersey: Erlbaum. 1976. P. 277–287.

Skavenski A.A., Haddad G., Steinman R.M. The extraretinal signal for visual perception of direction // Percept. Psychophys. 1972. V. 11. P. 287–290.

Skavenski A.A., Steinman R.M. Control of eye position in the dark // Vision Res. 1970. V. 10. P. 193–203.

Skinner B.F. About behaviorism. N.Y.: Knopf., 1974.

Smith K.U., Smith W.K. Perception and motion. Philadelphia: Saunders, 1962.

Sperry R.W. Effect of 180 degrees rotation of the retinal field on visuamotor coordination // J. Exp. Zool. 1943. V. 92. P. 263–279.

Sperry R.W. Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by vision inversion // J. Comp. and Physlol. Psychol. 1950. V. 43. P. 482–489.

Stability and constancy in visual perception / Ed. by W. Epstein. Wiley, 1977.

Stark L. Neurological control systems. New York, 1968.

Stark L. The control system for versional eye movements // The control of eye movements. N.Y.: Academic Press, 1971.

Stark L., Ellis S.R. Scanpaths revisited: cognitive models direct active looking // Eye movements: cognition and visual perception. Hillsdale (N.J.): Erlbaum 1981. P. 193–226.

Stark L., Bridgeman B. Role of collorary discharge in space constancy // Percept. Psychophys. 1983. V. 34. P. 371–380.

Steinbach M.J. Proprioceptive knowledge of eye position // Vision Res. 1987. V. 27. P. 1737–1744.

Steinman R.M. Effect of target size, luminance, and color on monocular fixation // J. Opt. Soc. Amer. 1965. V. 55. P. 1158–1165.

Steinman R.M. Role of eye movements in maintaining a phenomenally clear and stable world // Eye movements and psychological processes. N. Y., 1976. P. 121–149.

Steinman R. M., Haddad G. M., Skavenski A. A., Wyman D. Miniature eye movement // Science. 1973. V. 181. P. 810–819.

Stevens J.K., Emerton R.C., Gerstein T.K., Nenfeld G.R., Nechols C.W., Rosenquist A.C. Paralysis of the awake human: visual perceptions // Vision Res. 1976. V. 16. P. 93–98.

Stoper A.E. Vision during pursuit movement: the role of oculomotor information / Ph. D. Dissertation. Brandeis University, 1967.

Stoper A.E. Apparent motion of stimuli presented stroboscopically during pursuit movement of the eye // Percept. Psychophys. 1973. V. 13. P. 201–211.

Stratton G.M. Vision without inversion of the retinal image // Psychol. Rev. 1897. V. 3. P. 611–617.

Strelov E.R. What is needed for a theory of mobility: direct perception and cognitive maps — lessons from the blind // Psychol. rev. 1985. V. 92. P. 226–246.

Sumi S. Path of seen motion of two small light spots // Percept. and Mot. Skills. 1964. V. 19. P. 226.

Swanston M. T., Wade N.J. The perception of visual motion during movements of the eyes and of the head // Percept. Psychophys. 1988. V. 43. P. 559–566.

Taylor J.G. The behavioral basis of perception. New Haven: Yale Univ. press, 1962.

Teuber H.-L. Perception // Handbook of Physiology. Section I. Neurophysiology. V. III. New York, 1960. P. 1595–1668.

Timberlake G.T., Wyman. D., Skavenski A.A., Steinman R.M. The oculomotor error signal in the fovea // Vision Res. 1972. V. 12. P. 1059–1064.

Vernon M.D. Visual perception. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1937.

Volkman F.C Vision during voluntary saccadic eye movements // J. Opt. Soc. Amer. 1962. V. 52. P. 571–578.

Volkmann F., Schick A.M., Riggs L.A. Time course of visual inhibition during voluntary saccades // J. Opt. Soc. Amer. 1968. V. 58. P. 562–569.

Vossius J. Adaptive control of saccadic eye movements // Bibl. Opthalmol. 1972. V. 82. P. 244–250.

Wallach H. Lewis C. The effect of a binormal displacement of the retinal image during eye movement // Percept. Psychophys. 1966. V. 1. P. 25–29.

Wallach H., O'Leary. A., McMahon M.L. Three stimuli for visual motion perception compared // Percept. Psychophys. 1982. V. 32. P. 1–6.

Walls G.L. The evolutionary history of eye movements // Vision Res. 1962. V. 2. P. 69–80.

Warren W.H., Hannon D.J. Eye movements and optical flow // J. Opt. Soc. Amer. 1990. V. 7. P. 160–169.

Weber K.B., Daroff K.B. The metrics of horizontal saccadic eye movements in normal human // Vision Res. 1971. V. 11. P. 971–928.

Weinstein E.A., Bender M.B. The mid-position phenomenon in eye movements // Trans. Amer. Neural. 1948. V. 73. P. 163–165.

Welch R.B. Perceptual modification. N.Y.: Academic Press, 1978.

Werner H., Wapner S. Toward a general theory of perception // Psychol. Rev. 1952. V. 59. P. 324–338.

Wertheim A.H. Visual, vestibular, and oculomotor interactions in the perception // Perception and control of self-motion. NJ: Laurence Erlbaum Associates, 1990. P. 171–217.

Wertheim A.H. Motion perception during self-motion: the direct versus inferential controversy revisited // Behav. and Brain Science. 1994. V. 17. P. 293–355.

West D.C., Bouce P.R. The effect of flicker on eye movements // Vision Res. 1967. V. 8. P. 171–191.

Westheimer G. Eye movement response to a horizontally moving visual stimulus // Arch. Opthalmol. 1954b. V. 52. P. 932–941.

Westheimer G. Mechanism of saccadic eye movements // Arch. Opthalmol. 1954a. V. 52. P. 710–724.

Whipple W.R., Wallach H. Direction — specific motion thresholds for a binormal image shifts during saccadic eye movement // Percept. Psychophys. 1978. V. 24. P. 349–355.

Whitteridge D. The effect of stimulation of intrafusal muscle fibres on sensitivity to stretch of extraocular muscle sprindles // Quart. J. Exp. Physiol. 1959. V. 44. P. 385–393.

Winterson B.J., Steinman R.M., Skavenski A.A., Hans en K.H., Robinson D.A. The minivor — mother nature's retinal image stabilization technique — how good is it? // Proc. Intern, conf. Cybern. and Soc. San Francisco, California, 1975.

Wyman D., Steinman R. Small step tracking: implications for the oculomotor "dead zone"// Vision Res. 1973. V. 13. P. 2165–2172.

Yasui S., Young L.R. Perceived visual motion as effective stimulus to pursuit eye movement system // Science. 1975. V. 190. P. 906–908.

Young L.R., Forster I.D., Houtte N. van. A revised stochastic sampled data model for eye tracking movements — 4th ann. NASA univ. conf. on manual control, Ann Arbor Univ. of Michigan, 1968.

Young L., Stark L. A samped-data model for eye tracking movements // Q. Progr. Rep. Res. Lab. Electr. M. I. T. 1962. V. 66. P. 370–384.

Young L., Stark L. Variable feedback experiments testing a sample date model for eye tracking movements. I. E. E. E. Trans. Hum Fact. Electr., 1963. V. HFE-4. P. 38–51.

Zikmund V. Okohybne regulacic prizrakovej percepcii pohybu u loveka. Bratislava; Veda Vydavatestvo Slovcnskej Academic Vied, 1985.

Zuber B.L., Stark L., Cook G. Microsaccades and the velocity-amplitude relationship for saccadic eye movements // Science. 1965. V. 150. P. 1459–1460.

Научное издание

Барабанщиков Владимир Александрович
Белопольский Виктор Исаевич

СТАБИЛЬНОСТЬ ВИДИМОГО МИРА

Редактор — *О.В. Шапошникова*
Корректор — *И.В. Клочкова*
Макет и верстка — *А. Пожарский*

Сдано в набор 10.08.07. Подписано в печать 17.01.08.
Формат 60х90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Petrersburg.
Усл. печ. л. 18,9. Уч.-изд. л. 17,8 .
Тираж 500 экз. Заказ

Лицензия ЛР № 03726 от 12.01.01.
Издательство «Иститут психологии РАН»
129366, Москва, ул. Ярославская, 13
Тел.: (495) 682-51-29

E-mail: publ@psychol.ras.ru
www.psychol.ras.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ППП Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6